

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-149160

(43)Date of publication of application : 02.06.1998

(51)Int.Cl. G10H 1/00
G10L 3/00

(21)Application number : 08-324774

(71)Applicant : YAMAHA CORP

(22)Date of filing : 20.11.1996

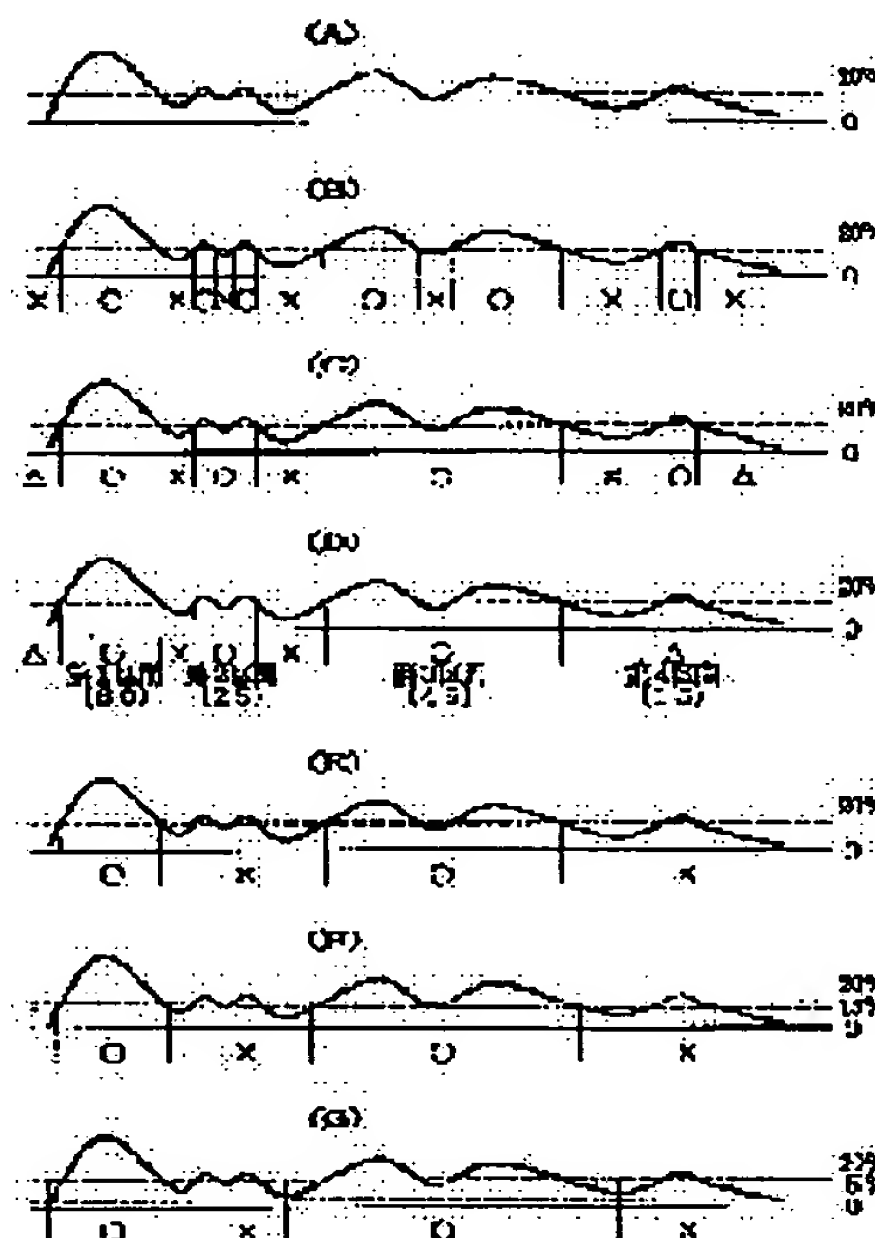
(72)Inventor : FUNAKI TOMOYUKI

(54) SOUND SIGNAL ANALYZING DEVICE AND PERFORMANCE INFORMATION GENERATING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily analyze an effective section even when a level of an input sound is attired delicately by dividing a mean sound pressure level of successively inputted signals to valid, invalid section based on a first prescribed value and further specifying the valid section based on first, second prescribed lengths.

SOLUTION: The section where the average sound pressure level (A) of the successively inputted signals is the first prescribed value (e.g. 20%) or above is defined as the valid section where a musical sound exists, and the section of the first prescribed value or below is defined as the invalid section (B). Then, when the time length of the invalid section held between both side valid sections is the first prescribed length or below, these both sides are synthesized to obtain the valid section (C), and thereafter, when the time length of the valid section held between both side invalid sections is the second prescribed length or below, these both sides are synthesized to obtain the invalid section (D). At this point of time, the mean value of the average sound pressure level is calculated, and when it is the second prescribed value or below, its valid section is changed to the invalid section (E).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3279204

[Date of registration] 22.02.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-149160

(43)公開日 平成10年(1998)6月2日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 1 0 H 1/00

G 1 0 H 1/00

B

G 1 0 L 3/00

G 1 0 L 3/00

B

審査請求 未請求 請求項の数16 F D (全 26 頁)

(21)出願番号 特願平8-324774

(22)出願日 平成8年(1996)11月20日

(71)出願人 000004075

ヤマハ株式会社

静岡県浜松市中沢町10番1号

(72)発明者 船木 知之

静岡県浜松市中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内

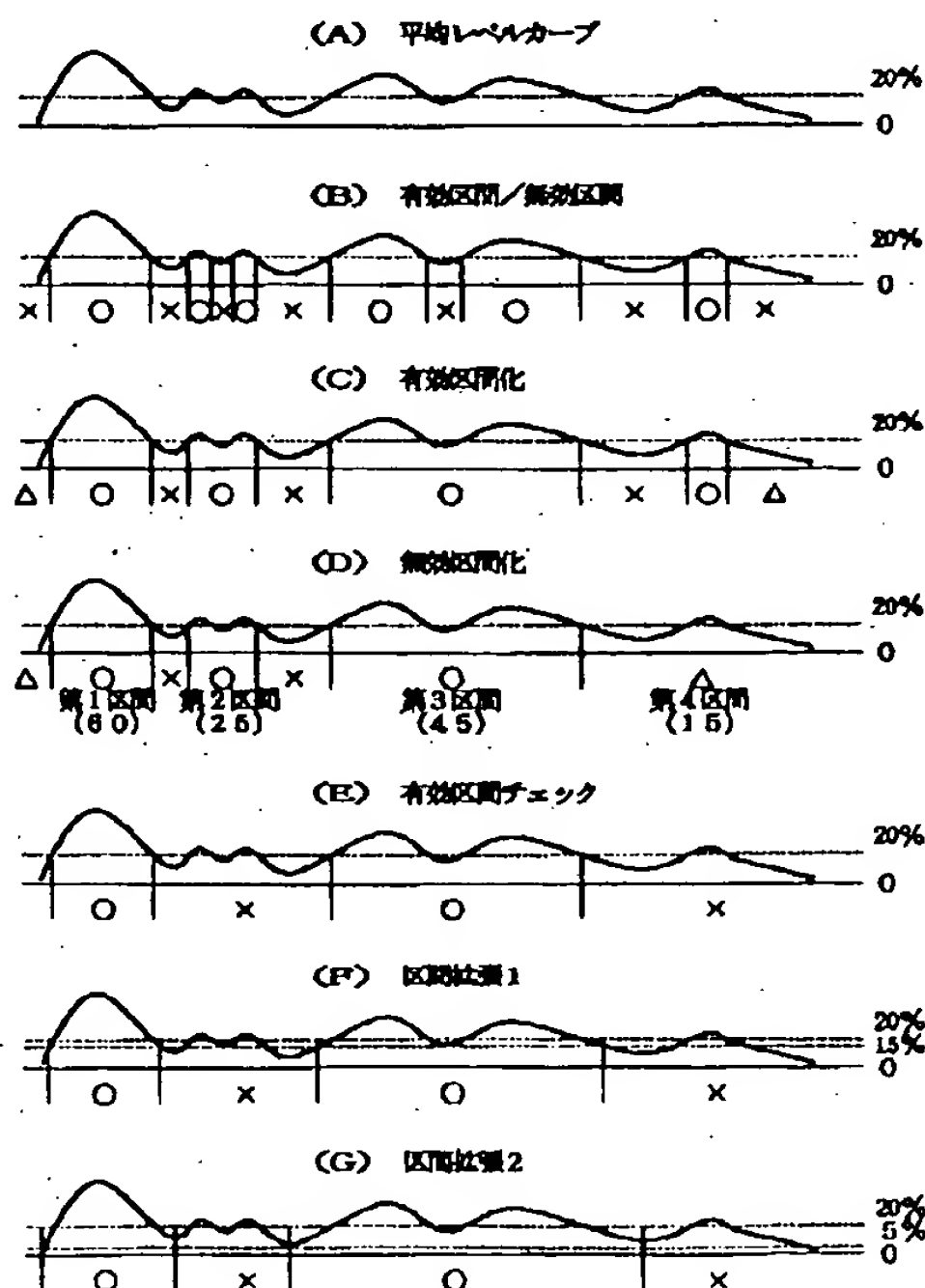
(74)代理人 弁理士 飯塚 義仁

(54)【発明の名称】 音信号分析装置及び演奏情報発生装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】マイクからの入力音からノート情報を生成する際に、入力音のピッチやレベルが微妙にゆれている場合でも1つの音符に相当する定常区間を確実に検出できるようにする。

【解決手段】単純に入力音レベルと所定の値を比較するのではなく、入力音レベルの絶対値の所定サンプル数での平均値の時系列を所定の値と比較して定常区間の分析をするようにする。また、入力音から最大および最小周波数を検出してこれらをカットオフ周波数とするバンドパスフィルタに入力音を通してから定常区間の分析をする。またさらに、各フレーズについて、1つの音符に相当する定常区間ごとに代表周波数を決定し、前後する定常区間どうしでの代表周波数の差からノート距離と音高差データを算出してこれらに基づいて定常区間に音階上の音高を割り当てる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から順次入力された信号のサンプル振幅値の所定サンプル数にわたる平均値をそれぞれ求め、その結果を時系列的な平均音圧レベル情報として出力する演算手段と、

前記演算手段によって求められた平均音圧レベルが第1の所定値以上である区間を音楽的な音が存在する有効区間とし、前記第1の所定値未満の区間を音楽的な音の存在しない無効区間とする区間決定手段と、

両側を前記有効区間に挟まれた前記無効区間の中でその区間の時間長が第1の所定長未満の場合には、その無効区間を有効区間に変更し、変更後の有効区間とその両側の有効区間とを合成して新たな有効区間とする有効区間化手段と、

前記有効区間化手段による処理が終了した時点で、両側を前記無効区間に挟まれた前記有効区間の中でその区間の時間長が第2の所定長未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更し、変更後の無効区間とその両側の無効区間とを合成して新たな無効区間とする第1の無効区間化手段と、

前記第1の無効区間化手段による処理が終了した時点における前記有効区間のそれぞれについて、前記平均音圧レベルの平均値を算出し、それが第2の所定値未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更する第2の無効区間化手段とを具備することを特徴とする音信号分析装置。

【請求項2】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から順次入力された信号のサンプル振幅値の所定サンプル数にわたる平均値をそれぞれ求め、その結果を時系列的な平均音圧レベル情報として出力する演算手段と、

前記演算手段によって求められた平均音圧レベルが第1の所定値以上である区間を有効区間とし、前記第1の所定値未満の区間であって両側を前記有効区間に挟まれた区間を無効区間として、これ以外の前記平均音圧レベルの両端側の区間を未確定区間とする区間決定手段と、

両側を前記有効区間に挟まれた前記無効区間の中でその区間の時間長が第1の所定長未満の場合には、その無効区間を有効区間に変更し、変更後の有効区間とその両側の有効区間とを合成して新たな有効区間とする有効区間化手段と、

前記有効区間化手段による処理が終了した時点で、両側を前記無効区間に挟まれた前記有効区間の中でその区間の時間長が第2の所定長未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更し、変更後の無効区間とその両側の無効区間とを合成して新たな無効区間とし、前記未確定区間に隣接する前記有効区間の中でその区間の時間長が前

記第2の所定長未満の場合には、その有効区間と、それに隣接する無効区間と未確定区間とを合成して新たな未確定区間とする第1の無効区間化手段と、

前記第1の無効区間化手段による処理が終了した時点における前記有効区間及び前記未確定区間のそれぞれについて、前記平均音圧レベルの平均値を算出し、

それが第2の所定値未満の場合には前記有効区間又は前記未確定区間を無効区間に変更し、前記第2の所定値以上の場合には前記未確定区間を有効区間に変更する第2の無効区間化手段とを具備することを特徴とする音信号分析装置。

【請求項3】 前記第2の無効区間化手段による処理が終了した時点で、前記演算手段によって求められた平均音圧レベルと前記第1の所定値よりも小さな第2の所定値とを用いて前記有効区間を拡張する拡張手段をさらに設けたことを特徴とする請求項1又は2に記載の音信号分析装置。

【請求項4】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する周期基準検出手段と、前記音信号について、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いものの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、

前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具備することを特徴とする音信号分析装置。

【請求項5】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第1の周期基準検出手段と、

前記第1の周期基準検出手段によって検出された前記候補位置に基づいて前記音信号の最大周波数及び最小周波数を検出する周波数帯検出手段と、

この周波数帯検出手段によって、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を前記入力手段から入力する前記音信号に施すフィルタ処理手段と、

前記フィルタ処理手段から出力される前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第2の周期基準検出手段と、

前記音信号について、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いものの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、

前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間検出手段とを具備することを特徴とする音信号分析装置。

【請求項6】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号の中から音楽的な音が存在すると思われる有効区間を分析する有効区間分析手段と、

前記有効区間を構成する前記音信号の正負両側部分のそれぞれに対して周期基準となる候補位置の複数を検出する周期基準検出手段と、

前記音信号の前記正負両側部分のそれぞれについて、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、

前記区間検出手段によって検出された正負両側の同波形区間を重ね合わせることによってできた区間を同音色区間とする音色区間決定手段と、

前記音色区間決定手段によって決定された同音色区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具備したことを特徴とする音信号分析装置。

【請求項7】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号の中から音楽的な音が存在すると思われる有効区間を分析する有効区間分析手段と、

前記有効区間を構成する前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第1の周期基準検出手段と、

前記第1の周期基準検出手段によって検出された前記候補位置に基づいて前記音信号の全区間又は前記有効区間に関する最大周波数及び最小周波数を検出する周波数帯検出手段と、

この周波数帯検出手段によって、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を前記入力手段から入力する前記音信号の全区間又は前記有効区間毎に施すフィルタ処理手段と、

前記フィルタ処理手段から出力される前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第2の周期基準検出手段と、

前記音信号の前記正負両側部分のそれぞれについて、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、

前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具備したことを特徴とする音信号分析装置。

【請求項8】 前記有効区間検出手段は、請求項1、2又は3に記載の音信号分析装置によって有効区間を検出することを特徴とする請求項6又は7に記載の音信号分析装置。

【請求項9】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、

前記定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、

前記周波数決定手段によって決定された前記定常区間の代表周波数に基づいて前後する2つの定常区間同士の代表周波数の差をセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、

このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値に基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、

前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音高割当手段とを具備したことを特徴とする演奏情報発生装置。

【請求項10】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、

定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、

前記定常区間分析手段によって分析された前記定常区間の複数を纏めて1つのフレーズを検出するフレーズ検出手段と、

前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内における当該定常区間よりも前に存在する全ての定常区間に対して、その代表周波数の差をそれぞれセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、

前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内における当該定常区間よりも前に存在する全ての定常区間に対する相対的な時間距離に基づいた重みを算出する重み算出手段と、

このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値及び重み算出手段によって算出された重みに基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、

前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音高割当手段とを具備したことを特徴とする演奏情報発生装置。

【請求項11】 外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、

前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、

定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、

前記定常区間分析手段によって分析された前記定常区間の複数を纏めて1つのフレーズを検出するフレーズ検出手段と、

前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内

の先頭の定常区間の代表周波数に対する前記フレーズ内の他の各定常区間の代表周波数の差をセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、

このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値に基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、

前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音高割当手段とを具えたことを特徴とする演奏情報発生装置。

【請求項12】 前記音高割当手段は、各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる際に、最初の定常区間に所定の音高を割り当ててから、順番に残りの定常区間に所定の音階上の音高を割り当てることを特徴とする請求項9、10又は11に記載の演奏情報発生装置。

【請求項13】 前記音高割当手段は、各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる際に、最初の定常区間の音信号を分析してその定常区間の平均周波数を検出し、検出された平均周波数に基づいた音高を最初の定常区間の音高として割り当ててから、残りの定常区間に順番に所定の音階上の音高を割り当てることを特徴とする請求項9、10又は11に記載の演奏情報発生装置。

【請求項14】 前記音高割当手段は、各定常区間に複数の音階上の音高をノート位置をずらしながらそれぞれ割り当ててみて、各音階の各ノート位置におけるノート割当誤差の累計値を算出し、その累計値に応じて最適な音階を決定し、決定された音階上の音高をその定常区間の音高として順番に割り当てることを特徴とする請求項9、10又は11に記載の演奏情報発生装置。

【請求項15】 前記音高割当手段は、前記決定された音階上の音高をその定常区間の音高として順番に割り当てる際にノート許容誤差範囲の値に応じて音階外の音高を割り当てることを特徴とする請求項9、10又は11に記載の演奏情報発生装置。

【請求項16】 前記定常区間分析手段は、請求項5、6、7又は8に記載の音信号分析装置によって前記定常区間を分析することを特徴とする請求項9、10又は11に記載の演奏情報発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、入力音声や楽音に基づいて音楽的な音が存在する区間（有効区間）やその音楽的な音の定常部分を分析する音信号分析装置、及びこの入力音声や楽音に基づいてMIDI情報等の演奏情報を発生する演奏情報発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】最近、コンピュータ等を用いて、MIDI情報等の演奏情報を発生し、その演奏情報に基づいて演奏音を再生するコンピュータ演奏システムが新たな楽音演奏装置として注目されている。この種のコンピュー

タ演奏システムでは、演奏情報を発生するためのデータを入力する方式として、リアルタイム入力方式、ステップ入力方式、数値入力方式、楽譜入力方式等がある。

【0003】リアルタイム入力方式は、テープレコーダのように演奏者が実際に演奏した鍵盤等の演奏操作子の操作情報をリアルタイムに演奏情報に変換する方式である。数値入力方式は、音高（ピッチ）、音の長さ、音の強弱等の演奏情報をコンピュータのキーボードから直接数値データとして入力する方式である。楽譜入力方式は、コンピュータのファンクションキーやマウス等を用いてディスプレイ上の楽譜（5線譜）に単純化した音譜記号等を配置していく方式である。ステップ入力方式は、音譜をMIDI鍵盤やソフトウェア鍵盤で入力し、音の長さをコンピュータのファンクションキーやマウス等を用いて入力する方式である。

【0004】上述の各入力方式のうち、リアルタイム入力方式は、実際の演奏操作状態をそのまま演奏情報として記憶することができるので、人間的なニュアンスを表現し易く、また短時間入力が可能であるという利点を有する。しかし、この方式は演奏者自身に高度の楽器演奏能力が必要であり、初心者等には不向きな入力方式である。そこで、リアルタイム入力方式の利点を生かし、初心者でも短時間で簡単に演奏情報を入力できるようにした演奏情報発生装置として、人声音又は自然楽器の楽音をマイクを介して直接入力し、その入力音に応じて演奏情報を発生するものがある。すなわち、これは、人声音やギター等の音（単音）をマイクから入力するだけで、簡単にMIDI信号を発生することができ、MIDIキーボード等を使用しなくてもMIDI機器を制御できる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の演奏情報発生装置では、マイクからの入力音のピッチ変化に対して、次のような処理を行ってMIDI情報を発生している。すなわち、第1の方法はピッチ変化を半音単位で検出し、そのピッチのノート情報のみを発生する。第2の方法はピッチ変化を半音単位で検出し、そのピッチのノート情報と、その間のピッチ変化に関するピッチベンド情報（音高変化情報）とを発生する。第3の方法はピッチ変化を上下1オクターブの範囲で変化するピッチベンド情報として発生する。また、ノート情報（ノートオン又はノートオフ）を発生するのに、入力音のレベルを所定の基準値と比較し、その基準値よりも入力音のレベルが大きくなった時点でノートオンを、小さくなった時点でノートオフを発生している。

【0006】しかしながら、上記第1及び第2の方法のようにピッチ変化を半音単位で検出する場合において、入力音のピッチが微妙にゆれると意図しないノート情報（ノートオン又はノートオフ）が多数発生するという問題がある。また、第3の方法のようにピッチ変化をピッ

チベンド情報で発生する場合は、ピッチ変化をピッチベンド情報で忠実に追従することができるが、採譜のような目的には適さない。さらに、入力レベルに応じてノート情報を発生すると、入力音のレベルのゆれに応じて意図しないノート情報が多数発生するという問題がある。ところで、リアルタイム入力方式においては、複数の音が任意の時間間隔で時系列的にマイクに入力されるので、音の存在する部分に対して効率的な分析を行うことが要求される。すなわち、マイク入力された信号に対してピッチ等の分析を絶えず行うようにしていたのでは、実際には音が入力されていない時間においても無駄な分析処理をすることになるので好ましくない。そこで、マイク入力された信号から実際に音が存在している区間（有効区間）を抽出し、抽出された有効区間についてのみピッチ分析等の複雑な分析処理を施すようにするのが効率的である。そのための従来の有効区間の抽出法は、単純に所定基準レベルと入力信号レベルを比較して有効区間の抽出を行っていたので、入力音のレベルが微妙に変動するような場合、特に基準レベル付近で変動した場合には有効区間の抽出が不正確になると問題があった。

【0007】この発明は、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、音楽的な音が存在する区間（有効区間）を容易に分析することのできる音信号分析装置を提供することを目的とする。この発明は、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、そのゆれた部分以外の音楽的な音の定常部分すなわち1つの音符に相当する部分を分析することのできる音信号分析装置を提供することを目的とする。詳しくは、入力された1連の音から定常部分を有効に分析し、これに基づき音のピッチを正確に分析できるようにするものである。この発明は上述の点に鑑みてなされたものであり、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でもそのピッチに対するノート情報を確実に発生することのできる演奏情報発生装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から順次入力された信号のサンプル振幅値の所定サンプル数にわたる平均値をそれぞれ求め、その結果を時系列的な平均音圧レベル情報として出力する演算手段と、前記演算手段によって求められた平均音圧レベルが第1の所定値以上である区間を音楽的な音が存在する有効区間とし、前記第1の所定値未満の区間を音楽的な音の存在しない無効区間とする区間決定手段と、両側を前記有効区間に挟まれた前記無効区間の中でその区間の時間長が第1の所定長未満の場合には、その無効区間を有効区間に変更し、変更後の有効区間とその両側の有効区間とを合成して新たな有効区間とする有効区間化手段と、前記有効区間化手段による処理が終

了した時点で、両側を前記無効区間に挟まれた前記有効区間の中でその区間の時間長が第2の所定長未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更し、変更後の無効区間とその両側の無効区間とを合成して新たな無効区間とする第1の無効区間化手段と、前記第1の無効区間化手段による処理が終了した時点における前記有効区間のそれぞれについて、前記平均音圧レベルの平均値を算出し、それが第2の所定値未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更する第2の無効区間化手段とを具えたものである。請求項1に記載の音信号分析装置では、入力手段から順次入力される信号の各サンプル振幅値の所定サンプル数にわたる平均値をそれぞれ求めているので、入力された音信号のレベル変動に敏感に応答した滑らかに変化する平均音圧レベル情報を得ることのできる。このようにして得られた平均音圧レベルを第1の所定値に基づいて有効区間及び無効区間に分けし、分けられた有効区間及び無効区間をさらに第1及び第2の所定長に基づいて最終的に有効区間を特定している。これによって、マイク等からの入力音のレベルが微妙にゆれた場合でも、音楽的な音が存在する区間（有効区間）を容易に分析することができる。

【0009】請求項2に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から順次入力された信号のサンプル振幅値の所定サンプル数にわたる平均値をそれぞれ求め、その結果を時系列的な平均音圧レベル情報として出力する演算手段と、前記演算手段によって求められた平均音圧レベルが第1の所定値以上である区間を有効区間とし、前記第1の所定値未満の区間であって両側を前記有効区間に挟まれた区間を無効区間として、これ以外の前記平均音圧レベルの両端側の区間を未確定区間とする区間決定手段と、両側を前記有効区間に挟まれた前記無効区間の中でその区間の時間長が第1の所定長未満の場合には、その無効区間を有効区間に変更し、変更後の有効区間とその両側の有効区間とを合成して新たな有効区間とする有効区間化手段と、前記有効区間化手段による処理が終了した時点で、両側を前記無効区間に挟まれた前記有効区間の中でその区間の時間長が第2の所定長未満の場合には、その有効区間を無効区間に変更し、変更後の無効区間とその両側の無効区間とを合成して新たな無効区間とし、前記未確定区間に隣接する前記有効区間の中でその区間の時間長が前記第2の所定長未満の場合には、その有効区間と、それに隣接する無効区間と未確定区間とを合成して新たな未確定区間とする第1の無効区間化手段と、前記第1の無効区間化手段による処理が終了した時点における前記有効区間及び前記未確定区間のそれぞれについて、前記平均音圧レベルの平均値を算出し、それが第2の所定値未満の場合には前記有効区間又は前記未確定区間を無効区間に変更し、前記第2の所定値以上の場合には前記未確定区間を有効区間に変更する第2の無

効区間化手段とを具えたものである。請求項2に記載の音信号分析装置は、基本的には請求項1に記載のものと同じであり、求められた平均音圧レベルを第1の所定値に基づいて有効区間及び無効区間に区分けするが、そのときに平均音圧レベルの両端部分すなわち平均音圧レベルの立上り部分と立下り部分を未確定区間とし、その後の有効区間の特定処理を行うようにした。これによって、入力された音信号の立上り部分及び立下り部分を正確に有効区間であるかどうかの分析を行うことができる。

【0010】請求項3に記載の音信号分析装置は、請求項1又は2に記載の音信号分析装置において、前記第2の無効区間化手段による処理が終了した時点で、前記演算手段によって求められた平均音圧レベルと前記第1の所定値よりも小さな第2の所定値とを用いて前記有効区間を拡張する拡張手段をさらに設けたものである。請求項1又は2に記載の音信号分析装置では、平均音圧レベルの有効区間と無効区間の境界は第1の所定値に基づいて決定されているので、この第1の所定値をどのような値にするかによって大幅に依存するようになるので、一連の処理によって特定された有効区間長を第1の所定値よりも小さな第2の所定値を用いて拡張することによって、音楽的な音が存在する有効区間の特定を正確に行うようにしている。

【0011】請求項4に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する周期基準検出手段と、前記音信号について、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具えたものである。請求項4に記載の音信号分析装置は、音信号の正負両側で周期基準となる候補位置を検出し、その候補位置に基づいて同波形区間を検出し、その正負両側の同波形区間を重ね合わせているので、正負側で音信号のピッチやレベルが微妙にゆれた場合でもその誤差を減少することができる。そして、このようにして決定された同音色区間を音高の急激な変化及び音圧の急激な変化に基づいて最終的な1つの音符に相当する定常区間を分析する。これによって、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、そのゆれた部分以外の音楽的な音の1つの音符に相当する定常部分を分析することができる。

【0012】請求項5に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第1の周期基準検出手段と、前記第1の周期基準検出手段によって検出された前

記候補位置に基づいて前記音信号の最大周波数及び最小周波数を検出する周波数帯検出手段と、この周波数帯検出手段によって、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を前記入力手段から入力する前記音信号に施すフィルタ処理手段と、前記フィルタ処理手段から出力される前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第2の周期基準検出手段と、前記音信号について、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間検出手段とを具えたものである。請求項5に記載の音信号分析装置では、入力された音信号から周期基準となる候補位置を検出し、その候補位置に基づいて音信号の最大周波数及び最小周波数を検出し、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を再び入力された音信号に対して行うことによって、同波形区間の検出時に発生する誤差の原因となる不要な低周波成分や高調波成分を有効に除去することができる。このように不要な低周波成分や高調波成分の除去された音信号について請求項4と同様の処理を行うことによって、より高精度な定常区間の分析を行うことができる。

【0013】請求項6に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号の中から音楽的な音が存在すると思われる有効区間を分析する有効区間分析手段と、前記有効区間を構成する前記音信号の正負両側部分のそれぞれに対して周期基準となる候補位置の複数を検出する周期基準検出手段と、前記音信号の前記正負両側部分のそれぞれについて、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、前記区間検出手段によって検出された正負両側の同波形区間を重ね合わせることによってできた区間を同音色区間とする音色区間決定手段と、前記音色区間決定手段によって決定された同音色区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具えたものである。請求項6に記載の音信号分析装置では、音信号の正負両側で周期基準となる候補位置を検出し、その候補位置に基づいて同波形区間を検出し、その正負両側の同波形区間を重ね合わせているので、正負側で音信号のピッチやレベルが微妙にゆれた場合でもその誤差を減少することができる。そして、このようにして決定された同音色区間を音高の急激な変化及び音圧の急激な変化に基づいて最終的な1つの音符に相当する定常区間を分析する。これによって、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、そのゆれた部分以外の音楽的な音の1つの音符に相当する定常区間を分析することがで

きる。

【0014】請求項7に記載の音信号分析装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号の中から音楽的な音が存在すると思われる有効区間を分析する有効区間分析手段と、前記有効区間を構成する前記音信号に対して周期基準となる仮候補位置の複数を検出する第1の周期基準検出手段と、前記第1の周期基準検出手段によって検出された前記仮候補位置に基づいて前記音信号の全区間又は前記有効区間に関する最大周波数及び最小周波数を検出する周波数帯検出手段と、この周波数帯検出手段によって、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を前記入力手段から入力する前記音信号の全区間又は前記有効区間毎に施すフィルタ処理手段と、前記フィルタ処理手段から出力される前記音信号に対して周期基準となる候補位置の複数を検出する第2の周期基準検出手段と、前記音信号の前記正負両側部分のそれぞれについて、前記候補位置で表される隣接する区間同士の波形の一致度を演算し、その一致度の高いもの同士を接続して同波形区間を検出する区間検出手段と、前記区間検出手段によって検出された同波形区間に基づいて定常区間を検出する定常区間決定手段とを具えたものである。請求項7に記載の音信号分析装置では、入力された音信号から周期基準となる仮候補位置を検出し、その仮候補位置に基づいて音信号の最大周波数及び最小周波数を検出し、検出された最大周波数及び最小周波数をカットオフ周波数とするバンドパスフィルタ処理を再び入力された音信号に対して行うことによって、同波形区間の検出時に発生する誤差の原因となる不要な低周波成分や高調波成分を有効に除去することができる。このようにな不要な低周波成分や高調波成分の除去された音信号について定常区間の分析処理を行うことによって、より高精度な分析が可能となる。請求項8に記載の音信号分析装置は、請求項6又は7に記載の前記有効区間検出手段を、請求項1、2又は3に記載の音信号分析装置で構成したものである。

【0015】請求項9に記載の演奏情報発生装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、前記定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、前記周波数決定手段によって決定された前記定常区間の代表周波数に基づいて前後する2つの定常区間同士の代表周波数の差をセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値に基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音

高割当手段とを具えたものである。請求項9に記載の演奏情報発生装置は、1つの音符に相当する定常区間毎にその代表周波数を決定し、それぞれ相前後する定常区間同士の代表周波数の差から算出されるセントを基準にした値に基づいて音高差データを算出し、この音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てている。すなわち、定常区間の代表周波数はその定常区間を構成する複数量波形の平均値であり、また、音高差データは相前後する定常区間同士のセントを基準にした値に基づいて算出されているので、マイク等からの入力音のピッチが微妙にゆれた場合でも最終的に割り当てられる音階上の音高の中にその誤差成分を吸収することが可能となる。

【0016】請求項10に記載の演奏情報発生装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、前記定常区間分析手段によって分析された前記定常区間の複数を纏めて1つのフレーズを検出するフレーズ検出手段と、前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内における当該定常区間よりも前に存在する全ての定常区間に対して、その代表周波数の差をそれぞれセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内における当該定常区間よりも前に存在する全ての定常区間に対する相対的な時間距離に基づいた重みを算出する重み算出手段と、このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値及び重み算出手段によって算出された重みに基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音高割当手段とを具えたものである。請求項10に記載の演奏情報発生装置は、複数の定常区間によって構成されるフレーズについて、請求項9に記載の演奏情報発生装置と同様に代表周波数及びセントを基準にした値を決定し、フレーズ内の前置音全てに対する時間距離に基づいた重み付けを行って、音高差データを算出し、それに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てている。これによって、マイク等からの入力音のピッチが微妙にゆれた場合でもフレーズを構成する定常区間の音に依存した音高割当てを行うことができる。

【0017】請求項11に記載の演奏情報発生装置は、外部から任意の音信号を入力するための入力手段と、前記入力手段から入力する前記音信号の中から1つの音符に相当する定常区間を分析する定常区間分析手段と、定常区間分析手段によって分析された前記定常区間毎に代表周波数を決定する周波数決定手段と、前記定常区間分

析手段によって分析された前記定常区間の複数を纏めて1つのフレーズを検出するフレーズ検出手段と、前記フレーズ検出手段によって検出された1フレーズ内の先頭の定常区間の代表周波数に対する前記フレーズ内の他の各定常区間の代表周波数の差をセントを基準にした値に変換するセント値変換手段と、このセント値変換手段によって変換されたセントを基準にした値に基づいて前記2つの定常区間同士の相対的な音高差データを算出する音高差算出手段と、前記音高差算出手段によって算出された前記音高差データに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる音高割当手段とを具えたものである。請求項11に記載の演奏情報発生装置は、複数の定常区間によって構成されるフレーズについて、請求項9に記載の演奏情報発生装置と同様に代表周波数を決定し、フレーズ内の先頭音に対してセントを基準にした値及び音高差データを算出し、それに基づいて各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てている。これによって、マイク等からの入力音のピッチが微妙にゆれた場合でもフレーズ先頭音に依存した音高割当てを行うことができる。

【0018】請求項12に記載の演奏情報発生装置は、請求項9、10又は11に記載の前記音高割当手段を、各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる際に、最初の定常区間に所定の音高を割り当ててから、順番に残りの定常区間に所定の音階上の音高を割り当てるように構成したものである。請求項13に記載の演奏情報発生装置は、請求項9、10又は11に記載の前記音高割当手段を、各定常区間に所定の音階上の音高を割り当てる際に、最初の定常区間の音信号を分析してその定常区間の平均周波数を検出し、検出された平均周波数に基づいた音高を最初の定常区間の音高として割り当ててから、残りの定常区間に順番に所定の音階上の音高を割り当てるように構成したものである。請求項14に記載の演奏情報発生装置は、請求項9、10又は11に記載の前記音高割当手段を、各定常区間に複数の音階上の音高をノート位置をずらしながらそれぞれ割り当ててみて、各音階の各ノート位置におけるノート割当誤差の累計値を算出し、その累計値に応じて最適な音階を決定し、決定された音階上の音高をその定常区間の音高として順番に割り当てるようにしたものである。請求項15に記載の演奏情報発生装置は、請求項9、10又は11に記載の前記音高割当手段を、前記決定された音階上の音高をその定常区間の音高として順番に割り当てる際にノート許容誤差範囲の値に応じて音階外の音高を割り当てるように構成したものである。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を添付図面に従って詳細に説明する。図2はこの発明に係る楽音情報分析装置及び演奏情報発生装置を内蔵した電子楽器の構成を示すハードブロック図である。電子楽器

は、マイクロプロセッサユニット(CPU)1、プログラムメモリ2及びワーキングメモリ3からなるマイクロコンピュータによって制御される。CPU1は、この電子楽器全体の動作を制御するものである。このCPU1に対して、データ及びアドレスバス1Eを介してプログラムメモリ2、ワーキングメモリ3、演奏データメモリ4、押鍵検出回路5、マイクインターフェイス6、スイッチ検出回路7、表示回路8及び音源回路9がそれぞれ接続されている。

10 【0020】プログラムメモリ2はCPU1の各種プログラム(システムプログラムや動作プログラムなど)、各種データ等を格納するものであり、リードオンリーメモリ(ROM)で構成されている。ワーキングメモリ3は、演奏情報やCPU1がプログラムを実行する際に発生する各種データを一時的に記憶するものであり、ランダムアクセスメモリ(RAM)の所定のアドレス領域がそれぞれ割り当てられ、レジスタ、フラグ、バッファ、テーブル等などとして利用される。演奏データメモリ4は、マイク等からの入力音に基づいて発生された演奏情報(MIDIデータ)などを記憶するものである。また、CPU1には、図示していないが、ハードディスク装置などを接続して、そこに自動演奏データやコード進行データ等の各種データを記憶していてもよく、更に、前記動作プログラムを記憶するようにしてもよい。また、前記ROM2に動作プログラムを記憶せずに、ハードディスク装置にこれらの動作プログラムを記憶させておき、それをRAM3に読み込むことにより、ROM2に動作プログラムを記憶したときと同様の動作をCPU1に行わせることができる。このようにすると、動作プログラムの追加やバージョンアップ等が容易に行える。着脱自在な外部記憶媒体の1つとして、CD-ROMを使用してもよい。このCD-ROMには、各種データ及び任意の動作プログラムを記憶していてもよい。CD-ROMに記憶されている動作プログラムや各種データは、CD-ROMドライブ(図示せず)によって、読み出され、ハードディスク装置に転送記憶させることができる。これにより、動作プログラムの新規のインストールやバージョンアップを容易に行うことができる。

40 【0021】なお、図示していないが、通信インターフェイスをデータ及びアドレスバス1Eに接続し、この通信インターフェイスを介してLAN(ローカルエリアネットワーク)やインターネットなどの種々の通信ネットワーク上に接続可能とし、他のサーバコンピュータとの間でデータのやりとりを行うようにしてもよい。これにより、ハードディスク装置内に動作プログラムや各種データが記憶されていないような場合には、サーバコンピュータからその動作プログラムや各種データをダウンロードすることができる。この場合、クライアントとなる楽音生成装置である電子楽器から、通信インターフェイス及び通信ネットワークを介してサーバコンピュータに

動作プログラムや各種データのダウンロードを要求するコマンドを送信する。サーバコンピュータは、このコマンドに応じて、所定の動作プログラムやデータを、通信ネットワークを介して電子楽器1に送信する。電子楽器では、通信インターフェイスを介してこれらの動作プログラムやデータを受信して、ハードディスク装置にこれらを蓄積する。これによって、動作プログラム及び各種データのダウンロードが完了する。

【0022】鍵盤10は、発音すべき楽音の音高を選択するための複数の鍵を備えており、各鍵に対応してキースイッチを有しており、また必要に応じて押鍵速度検出装置や押圧力検出装置等のタッチ検出手段を有している。押鍵検出回路5は、発生すべき楽音の音高を指定する鍵盤10のそれぞれの鍵に対応して設けられた複数のキースイッチからなる回路を含んで構成されており、新たな鍵が押圧されたときはキーオンイベントを出力し、鍵が新たに離鍵されたときはキーオフイベントを出力する。また、鍵押し下げ時の押鍵操作速度又は押圧力等を判別してタッチデータを生成する処理を行い、生成したタッチデータをベロシティデータとして出力する。このようにキーオン、キーオフイベント及びベロシティなどのデータはMIDI規格に準拠したデータ（以下「MIDIデータ」とする）で表現されておりキーコードと割当てチャンネルを示すデータも含んでいる。マイクロフォン1Aは、音声信号や楽器音を電圧信号に変換して、マイクインターフェイス6に出力する。マイクインターフェイス6は、マイクロフォン1Aからのアナログの電圧信号をデジタル信号に変換してデータ及びアドレスバス1Eを介してCPU1に出力する。

【0023】テンキー&各種スイッチ1Bは、数値データ入力用のテンキーや文字データ入力用のキーボード、音符化処理（音信号分析処理及び演奏情報発生処理）のスタート/ストップスイッチなどの各種の操作子を含んで構成される。なお、この他にも音高、音色、効果等を選択・設定・制御するための各種操作子を含むが、その詳細については公知なので説明を省略する。スイッチ検出回路7は、テンキー&各種スイッチ1Bの各操作子の操作状態を検出し、その操作状態に応じたスイッチ情報をデータ及びアドレスバス1Eを介してCPU1に出力する。表示回路8はCPU1の制御状態、設定データの内容等の各種の情報をディスプレイ1Cに表示するものである。ディスプレイ1Cは液晶表示パネル（LCD）やCRT等から構成され、表示回路8によってその表示動作を制御されるようになっている。このテンキー&各種スイッチ1B、並びにディスプレイ1CによってGUI（Graphical User Interface）が構成される。

【0024】音源回路9は、複数チャンネルで楽音信号の同時発生が可能であり、データ及びアドレスバス1Eを経由して与えられた楽音トラック上のMIDIデータ

を入力し、このデータに基づいた楽音信号を生成し、それをサウンドシステム1Dに出力する。音源回路9において複数チャンネルで楽音信号を同時に発音させる構成としては、1つの回路を時分割で使用することによって複数の発音チャンネルを形成するようなものや、1つの発音チャンネルが1つの回路で構成されるような形式のものであってもよい。また、音源回路9における楽音信号発生方式はいかなるものを用いてもよい。例えば、発生すべき楽音の音高に対応して変化するアドレスデータに応じて波形メモリに記憶した楽音波形サンプル値データを順次読み出すメモリ読み出し方式（波形メモリ方式）、又は上記アドレスデータを位相角パラメータデータとして所定の周波数変調演算を実行して楽音波形サンプル値データを求めるFM方式、あるいは上記アドレスデータを位相角パラメータデータとして所定の振幅変調演算を実行して楽音波形サンプル値データを求めるAM方式等の公知の方式を適宜採用してもよい。また、これらの方式以外にも、自然楽器の発音原理を模したアルゴリズムにより楽音波形を合成する物理モデル方式、基本波に複数の高調波を加算することで楽音波形を合成する高調波合成方式、特定のスペクトル分布を有するフォルマント波形を用いて楽音波形を合成するフォルマント合成方式、VCO、VCF及びVCAを用いたアナログシンセサイザ方式等を採用してもよい。また、専用のハードウェアを用いて音源回路を構成するものに限らず、DSPとマイクロプログラムを用いて音源回路を構成するようにしてもよいし、CPUとソフトウェアのプログラムで音源回路を構成するようにしてもよい。音源回路9から発生された楽音信号は、アンプ及びスピーカからなるサウンドシステム1Dを介して発音される。

【0025】次に、この発明に係る電子楽器が音信号分析装置及び演奏情報発生装置として動作する場合の一例を説明する。図1は図2の電子楽器が演奏情報発生装置として動作する際のメインフローを示す図である。メインフローは次のようなステップで順番に実行される。

ステップ11：まず、初期設定処理を行い、図2のワーキングメモリ3内の各レジスタ及びフラグなどに初期値を設定したりする。このとき、テンキー&各種スイッチ1B上の音符化処理スタートスイッチがオン操作された場合に、ステップ12～ステップ17までの一連の処理を行う。

【0026】ステップ12：このステップは音符化処理スタートスイッチのオン操作有りと判定された場合に行われるものであり、ここでは、そのオン操作に対応して、マイクインターフェイス6を介してマイクロフォン1Aから入力される音声信号や楽器音の電圧波形を所定周期（例えば44.1kHz）でサンプリング処理し、それをデジタルサンプル信号としてワーキングメモリ3内の所内領域に記憶する。このサンプリング処理は従来の公知の方法で行うので、ここでは詳細は省略する。

ステップ 13 からステップ 15 までは音符化処理スタートスイッチのオン操作に対応した音符化処理である。この音符化処理ではサンプリングされた音声信号や楽器音のデジタルサンプル信号を種々分析してそれを音高列すなわち楽譜表示可能な M I D I データに変換する。

ステップ 13 : ステップ 12 の音声サンプリング処理の結果得られたデジタルサンプル信号に基づいて音楽的な音が存在する区間すなわち有効区間がどこにあるのかを検出する有効区間検出処理を行う。この有効区間検出処理の詳細については後述する。

ステップ 14 : ステップ 13 の有効区間検出処理の結果、検出された各有効区間内に存在する音楽的な音の定常部分を検出する定常区間検出処理を行う。この定常区間検出処理の詳細については後述する。

ステップ 15 : ステップ 13 及びステップ 14 の処理の結果、得られた各定常区間毎に最も最適な音符を割り当てる音高列決定処理を行う。すなわち、このステップでは M I D I データを発生する。この音高列決定処理の詳細については後述する。

ステップ 16 : ステップ 15 の処理によって発生された M I D I データに基づいて楽譜を作成する楽譜作成処理を行う。この楽譜作成処理は従来の技術によって容易に実現可能なので詳細は省略する。

ステップ 17 : ステップ 15 の処理によって発生された M I D I データに基づいた自動演奏処理を行う。この自動演奏処理についても従来の技術によって容易に実現可能なので詳細は省略する。

【0027】図 3 は図 1 のステップ 13 の有効区間検出処理の詳細を示す図である。以下、ステップ 12 によって求められたデジタルサンプル信号からどのようにして有効区間が検出されるのか、この有効区間検出処理の動作を図 9 及び図 10 を用いて説明する。

ステップ 31 : ステップ 12 によって求められたデジタルサンプル信号に基づいて平均音圧レベルを算出する。図 9 は、サンプリング周波数 44.1 kHz でサンプリングされた音声信号すなわちデジタルサンプル信号の波形値の一例を示す図である。図 9 では、約 20 ポイント分の波形値が示されている。ステップ 31 では、所定のサンプル数（例えば、10 msec 相当の時間に対応するサンプル数）にわたるサンプル振幅値の平均を求め、それを平均音圧レベルとする。従って、サンプリング周期 44.1 kHz の場合においては、この所定サンプル数は「441」であり、あるサンプルポイントの平均値は、そのポイントを終了とする 10 msec 分前の各ポイントの合計値、すなわちそのポイントから 441 ポイント分前の波形値の合計を 441 で除した値となる。なお、0 ポイントから 440 ポイントまでは、441 ポイント分の波形値が存在しないので、0 ポイントからその該当ポイントまでの波形値の平均をそのポイントの平均値とする。こうして、時系列的な平均音圧レベル

情報が各サンプルタイミング毎に得られる。図 9 では、説明の便宜上 15 ポイント分の波形値の平均値を平均音圧レベルとする場合を図示している。従って、最初の 15 ポイントまではそれまでの波形値の合計値をそのポイント数で除する形になっている。また、波形値の合計は、その絶対値を合計することによって求める。図 10 (A) はこのようにして求められた平均音圧レベルの値を、サンプリングポイントを横軸とした場合をグラフ化して示したものである。以下、この平均音圧レベルを平均レベルカーブと称する。なお、図 9 のように 15 ポイント毎に平均音圧レベルを求める場合には、カットオフ周波数 10 Hz 程度のローパスフィルタを掛けて、レベル変動を滑らかにしている。従って、実際に 441 ポイント分の波形値の平均を取る場合には、カットオフ周波数 80 ~ 100 Hz 程度のローパスフィルタを掛けて、そのレベル変動を滑らかにするのが望ましい。また、ここでは、あるサンプリングポイントの平均値を求めるのに、そのポイントより前の所定数のポイントの波形値を合計して平均音圧レベルを求める場合について説明したが、あるサンプリングポイントを中心として前後に所定数のポイントの波形値を合計してもよいし、サンプリングポイントから後に所定数のポイントの波形値を合計してもよい。

【0028】ステップ 32 : 前記ステップ 31 で求められた図 10 のような平均レベルカーブを、所定のしきい値に基づいて有効区間又は無効区間にそれぞれ分類する処理を行う。この処理では、しきい値として、その平均レベルカーブの中の最大波形値の 20 パーセントの値をしきい値とする。これ以外の値をしきい値としてもよいことは言うまでもない。例えば、平均レベルカーブの平均値をしきい値としたり、又はその平均値の 80 パーセントをしきい値としたり、平均レベルカーブの最大値の半分の値をしきい値としたりしてもよい。しきい値は図 10 (B) のような点線で示される。従って、この点線（しきい値）と平均レベルカーブとの交点位置が有効区間及び無効区間の境界となり、この点線（しきい値）よりも大きい区間が有効区間となり、小さい区間が無効区間となる。図 10 (B) では、有効区間を○印で示し、無効区間を×印で示す。

【0029】ステップ 33 : 人間が音高を認知できる必要な最低長を 0.05 msec とした場合に、前記ステップ 32 で決定された無効区間の中からこの最低長よりも小さな無効区間を有効区間に変更する。例えば、サンプリング周期が 44.1 kHz の場合にはサンプリング数で 2205 個以下の無効区間を有効区間に変更する。図 10 (B) においては、左側から第 3 番目及び第 5 番目の無効区間がこの短い無効区間に相当する。従って、ステップ 33 の処理の結果、図 10 (B) は図 10 (C) のようになり、有効区間が拡張されたようになる。なお、この処理において、全区間内の始まりと終わ

りの部分に存在する無効区間は、短い無効区間に相当するが、短いからといって有効区間に変更しない特別な領域として△印を用いて表現している。

【0030】ステップ34：前記ステップ33の処理の結果、得られた有効区間及び無効区間のパターンの中から0.05msec以下の短い有効区間を無効区間に変更する処理を行う。この処理は前記ステップ33と同様の処理にて行う。図10(C)においては、右端の有効区間がこの短い有効区間に該当する。従って、ステップ34の処理の結果、図10(C)は図10(D)のよう

になる。図10(D)から明らかなように、有効区間は第1区間から第4区間までの全部の4つの区間となる。なお、区間の終わりの部分の△印は第4の有効区間とみなされる。

ステップ35：ステップ34で特定された有効区間の平均レベルカーブの平均値を求め、それが所定値よりも小さい場合にその部分を無効区間とする最終的な有効区間のチェックを行う。この平均値はその有効区間に存在する各ポイントの平均音圧レベル値の合計をその有効区間長で除することによって得られる。このようにして得られた平均音圧レベルの平均値が図10(D)の各区間の下側に示してある。第1区間は60、第2区間は25、第3区間は45、第4区間は15である。この平均音圧レベルの平均値がその区間の最大波形値の30パーセントを下回った場合は、その区間を無効区間とする。ここでは、第2区間及び第4区間が該当するので、それぞれの区間が無効区間になる。図10(E)はこのステップ35の有効区間チェック処理によって特定された有効区間と無効区間を示す図である。

【0031】ステップ36：ステップ31～35までの処理によって特定された有効区間を拡張する処理を行う。例えば、図10(F)に示すように最大波形値の15パーセントを拡張許可レベルとして、そこの部分に線を引き、有効区間を特定する境界線をその拡張許可レベルの線のところまで拡張する。すなわち、各有効区間の端から外側に向かって平均レベルカーブの上昇下降をチェックしながら、そのカーブが拡張許可レベルを下回ったかどうかのチェックを行いながら拡張処理を行う。このとき、下降が上昇に反転した場合や拡張許可レベルを下回った場合には、そこまでを有効区間とする。また、図10(G)は、この有効区間拡張処理の別の例を示す図である。拡張許可レベルを最大波形値の5パーセントとし、平均レベルカーブの下降が終了した位置を有効区間の末端とする。又は、上昇が始まった位置を末端としてもいい。この拡張処理によれば、図10(F)の場合よりも第1区間及び第3区間の拡張幅が大きくなる。このようにして、人間が音高として認知することの可能な有効区間が最終的に決定することになる。なお、拡張許可レベルが低く、かつ、有効区間が近い距離にある場合には、ある有効区間の末尾側の拡張位置と次の有効区間

の先頭側の拡張位置とが接近することもある。また同じ位置になることもある。また、下降が終わる部分と上昇が始まる部分のいずれを区切りにするかによっても境界位置が変わる。この拡張処理の結果、有効区間同士が重複した場合には、両方の中間位置を境界位置とすればよい。なお、図10(F)及び(G)では、有効区間の拡張を前後に行う場合について説明したが、前方向又は後方向のみにしてもよい。また、前後に拡張する場合に、前方向と後方向とで拡張許可レベルを異ならせるようにしてもよい。

【0032】図4は図1のステップ14の定常区間検出処理の詳細を示す図である。ステップ13によって求められた有効区間の中から定常区間がどのようにして検出されるのか、その定常区間検出処理の詳細を図11から図18までの図面を用いて説明する。音声や楽音などの音楽的なオーディオ信号を分析する場合、定常部がどこにあるかを知ることが重要なことである。リズム系以外の音色では、定常部の周期性によって音高が決定され、定常部を骨格として音価が決定されるからである。この実施の形態では、定常部は、楽譜として表した時に一つの音符に相当する区間のことであり、音色、音高、ベロシティという音の3大要素の変化に注目し、人間が一つの音として認識する区間を時間軸上で検出しようとすることをいう。以下、図4のステップに従って、この定常区間検出処理について説明する。

【0033】ステップ41：図3の有効区間検出処理によって得られた有効区間の全ての区間に対して1周期の基準となる位置を検出する処理を行う。周期の基準位置を検出するには、大きく分けて、0クロス位置検出かピーク位置検出のどちらか一方を用いるのが一般的である。0クロス位置検出によって周期の基準位置を検出するためには、フィルタ等で倍音をできるだけ取り除かないと検出は困難であり、帯域分割も必要である。ピーク位置検出の場合も倍音をできるだけ取り除くことが望ましいが、0クロス位置検出ほどはシビアでないため、音声や楽器の発音可能周波数帯をカットオフ周波数としてバンドパスフィルタを掛けるだけでよく、帯域分割などの処理を特に行う必要はない。従って、ピーク位置検出の方が手順が簡単で、そこそこの結果が得られる方法であり、望ましい。従って、この実施の形態では、ピーク位置検出によって周期の基準位置を検出する場合について説明する。まず、ピーク位置検出を行う前にフィルタによる倍音削除を行う。これは、発音可能な帯域をカットオフ周波数として、バンドパスフィルタを掛けることである。音声の場合、人間の発音可能な帯域は80～1000Hz程度であり、ユーザを限定せずに、オールマイティに分析するにはこれくらいが必要である。但し、ユーザが限定されている場合には、発音可能な帯域をある程度絞ることによって、倍音による間違いが減少させて精度を向上させることができる。ギターなら、80～

700Hz程度であるが、これも予め音高枠を決めておくと精度が上がる。楽器ごとの違いなども予め設定しておく精度が向上する。図11に示すように、有効区間内の楽音波形のピーク位置検出を行う。このピーク位置検出方法は公知の手法によって行う。楽音波形のピークレベルを検知して、これを所定の時定数回路で保持し、そのピークレベルをスレッシュドホールド電圧として次にこのスレッシュドホールド電圧以上になった場合を次のピークレベルとして保持し、それを順次繰り返すことによって、図11(B)のようなピーク位置を検出することができる。図11(A)はこのピーク位置を検出する際のスレッシュドホールド電圧の様子を示す図である。図11(A)の音声波形からは、図11(B)のようなピーク位置が検出されることになる。ピーク位置P1、P3、P5、P7、PA、PC、PEは共に規則正しく所定の周期でピーク位置が現れているが、ピーク位置P9については、音声波形の若干の乱れによって不正なピーク位置の現れ方をしている。以下、このような不正なピーク位置が修正されて、正しいピーク位置における定常区間の検出が行われる。

【0034】ステップ42：前記ステップ41で検出された周期基準位置に基づいて、あるピーク基準位置から始まる基本区間と、その基本区間の直後の次のピーク基準位置までの区間（以下、移動区間とする）との2つの区間について比較を行う。図11(B)に示すように、ピーク基準位置P7について考えると、最初の基本区間はピーク基準位置P7から次のピーク基準位置P9までの区間79となる。しかし、区間79は帯域最低長以下の長さなので、ピーク基準位置P7から次のピーク基準位置PAまでの区間7Aに拡張される。この区間7Aは帯域最低長よりも大きく、帯域最高長よりも小さいので、これに決定する。次に移動区間はピーク基準位置PAからピーク基準位置PCまでの区間ACとなる。区間7Aと区間ACとの誤差率を算出して、それが所定値以上だったら両区間は一致していないと判断して、移動区間の長さをさらに広げる。そして、拡大した移動区間と基本区間とで誤差率を算出して、さらに誤差率が所定値以上だったら、その時の基本区間では一致しないと判定し、基本区間の拡大を行う。従って、基本区間はピーク基準位置P7から次のピーク基準位置PCまでの区間7Cに拡張される。しかしながら、この区間7Cは帯域最高長よりも大きいので、比較処理は中止し、この区間では一致しなかったと判定される。仮に、区間7Aと区間ACとの比較の結果、誤差率が所定値（例えば10）よりも小さい場合には、両区間は一致すると判定して、次のピーク基準位置PAから始まる区間3と次の移動区間について同様の処理を行う。この誤差率の算出方法については後述する。このとき、ワーキングメモリ（RAM）には、ピーク基準位置情報と、そのときの誤差率と、一致フラグとのデータがそれぞれ書き込まれるデー

タ領域を有する。上述の場合、区間7Aと区間ACとが一致した場合は、ピーク基準位置情報P7と、そのときの誤差率と、一致を示す一致フラグとがデータ領域にそれぞれ書き込まれる。一方、区間2と区間3とが一致しない場合には、不一致フラグだけが書き込まれる。

【0035】図12はこの波形比較処理の中で行われる誤差率の算出方法を説明するための図である。まず、誤差率の算出対象となる2つの波形が図12の示すような比較波1Xと比較波2Xだとする。まず、比較波1X及び比較波2Xについて、最大振幅値が100パーセントとなるようにその振幅値の正規化を行う。ここで、比較波2Xは比較波1Xに比べて時間軸（横軸）方向の大きさが短くなっているため、比較波2Xを比較波1Xと同じ時間幅となるように伸長する。これによって、比較波1Xは比較波1Yとなり、比較波2Xは比較波2Yとなり、時間軸の伸長によって最終的には比較波2Zとなる。この比較波1Yと比較波2Zとの間で誤差率の計算が行われる。図13は、比較波1Yと比較波2Zとの間の誤差率を算出する場合の具体例を示す図である。図では、比較波1Yと比較波2Zの最初の1周期の波形すなわちサンプリング数で24個分について誤差率を算出する場合について説明する。比較波1Yと比較波2Zの同じサンプリング位置についてその差分を算出し、その差分の絶対値の合計を求める。図13の場合には絶対値の合計値は122である。これをサンプリング数24で除することによって、誤差率が求まる。この場合には誤差率は5となる。この場合、所定値を10とすれば、この誤差率は10以下なので、同じ波形として処理される。図13において、各波形は1000を最大レベルとして正規化されている。このようにして波形比較処理が行われることによって、図11(B)のピーク基準位置P9はキャンセルされ、図14(A)のように規則正しいピーク位置が検出されることになる。

【0036】ステップ43：ステップ42の波形比較処理の結果を利用して、誤差率が所定値（例えば10）よりも小さな区間同士を繋げて、それを疑似的な一致区間とし、その一致区間の最大値と最小値を検出し、それに基づいてカットオフ周波数帯を決定する。例えば、波形比較処理の結果得られた複数の一致区間の中の最小値が235ポイントで、最大値が365ポイントだとする。この一致区間にやや余裕を持たせるために、最小値を1割減とし、最大値を1割増しとすると、一致区間は約212ポイントから約402ポイントになる。これは、サンプリング周波数が44.1kHzだと、110Hzから208Hzのオーディオ信号の周波数帯に相当する。従って、この110Hzから208Hzをカットオフ周波数帯とする。

ステップ44：ステップ43で決定された新たなカットオフ周波数を用いて、ステップ41及びステップ42と同様の処理を繰り返し実行する。例えば、前述の場合に

は、カットオフ周波数を110Hzから208Hzの範囲として、ステップ41の周期基準位置検出処理とステップ42の波形比較処理を繰り返し、同じ波形の連続する区間（一致区間）を検出する。これによって、誤差の原因となる低周波や高調波がカットされてより精度の高い処理が可能となり、前回よりも精度の高い一致区間が得られる。このステップ44の同波形区間検出処理によって、図11(A)のような音声波形は、図14(B)のような三つの区間X、Y、Zに分割されたような形、すなわち、区間Xと区間Zが区間Yによって連続性の途切れた形になる。図14(B)では、音声波形のプラス側もマイナス側も同じような場所で途切れている。なお、図15(A)のような音声波形の場合には、4周期目と5周期目の基音成分がやや少ないので、プラス側のピークがうまく認識できずに、図15(B)のようなピーク位置が検出されることになる。従って、図15(A)のような音声波形についてステップ41からステップ44の処理を行うと、図15(C)のようにプラス側だけがピーク位置P5とピーク位置PBとの間で連続性の途切れたような形になる。しかしながら、これが定常区間である場合には、プラス側かマイナス側のどちらかに必ず基音成分が顕著に現れるので、図15(A)の音声波形の場合には音声波形のマイナス側については同波形区間として規則正しく認識される。従って、ステップ42での波形比較処理における誤差率が許容範囲内であったとすると、定常区間は図15(C)のようなマイナス部分の矢印で示される範囲となり、プラス側の途切れた部分は誤りだったと認識されることになる。なお、音声波形の場合は、基音成分がプラス側でもマイナス側でも乱れる場合が結構あり得るので、ステップ46で定常部の重ね合わせ処理を行い、その対策を行うようにしている。

【0037】ステップ45：ステップ44までの処理によって図16(A)に示すような両矢印に対応した区間が同波形区間であると認定された場合に、その区間を拡張する。すなわち、同波形区間内の先頭（○印の部分）と末尾（×印の部分）の波形をそれぞれ基本波形として、その両側の区間をそれぞれ移動区間としてステップ42の波形比較処理と同じ方法によって、誤差率を求め、同波形区間を拡張する。このとき、誤差率のしきい値をステップ42の場合よりも高め（例えば誤差率15程度）に設定しておくことによって、この同波形区間を図16(B)のような点線矢印で示すような位置にまで拡張することができる。但し、拡張した結果が隣の区間に重なった場合にはその時点で拡張処理を止める。このようにして拡張された同波形区間が音声波形のプラス側及びマイナス側のそれぞれの定常区間となる。

ステップ46：ステップ41からステップ45までの処理は、音声波形のプラス側及びマイナス側についても行われるので、両側で独立に得られた定常区間を重ね合わ

せる。例えば、ステップ45までの処理の結果、プラス側とマイナス側の定常区間が図17(A)に示すような矢印の範囲になったとする。これらプラス側とマイナス側の定常区間をそれぞれ重ね合わせると、図17(B)のハッチングされた長方形部分が最終的な定常区間となる。この場合、プラス側及びマイナス側に存在するそれぞれ5つの定常区間はステップ46の定常部重ね合わせ処理の結果、4つの定常区間となる。

【0038】ステップ47：ステップ46までの処理によって得られた定常区間についてさらに今度は音高及び音圧の変化による細分化処理を行う。ステップ46までの定常区間検出処理では、波形を引き延ばして比較しているため、『ああ』などのような連続母音による音声波形の音高変化であっても、それを1つの同じ音としてとらえるような仕組みになっている。従って、楽器音の楽音波形の場合には、持続系の楽器音の音高変化を見つけ出せないような事態も起こる。そこで、この実施の形態では、ステップ46までの処理によって得られた定常部区間ごとに音高変化の状態を調べて、その状態に応じてさらに分割する必要があるかどうかの判定を行い。必要があると判定された場合には、定常部区間をさらに細かく分割する。例えば、ある定常区間の中における周期基準位置の間の長さを計算し、それをサンプリング周波数で割ることによってその周期基準位置における周波数が算出される。図18(A)は定常区間を構成する各波形の周波数の値を示すと共に、その区間の周波数と前区間の周波数との差分をノートに対応したリニア軸で数値化したノート距離を示している。ここで、ノート距離は、

$$\log(\text{比較される周波数}/\text{元となる周波数})/\log(12\sqrt{2})$$

の式によって算出される。このノート距離の値が±0.5の範囲内にある場合は急激な音高の変化ではないと見なし、これよりも大きい値の場合は音高が急激に変化したものと見なし、その部分を区間の区切りとしてその定常区間をさらに細かく分離する。例えば、図18(A)の場合には、定常区間の第10番目から第12番目のノート距離が共に0.5よりも大きいので、その部分で音高が急激に変化したとみなされるので、定常区間がさらに第1番目から第9番目までの区間と、第13番目から第24番目までの区間に分離される。これは、音色は変わらないが音高が変化した時の音符の区間を検出しているのに等しい。

【0039】次に、音圧についても音高変化の場合と同様のことが言えるので、音圧レベルが急激に変化した位置を検出し、その部分で定常区間をさらに細かく分割する。図18(B)は定常区間を構成する各波形の平均音圧レベルの値を示すと共に、その区間の平均音圧レベルと前区間の平均音圧レベルとの増幅比を示している。この増幅比は

$$\log(\text{前区間の平均レベル}/\text{その区間の平均音圧レベ$$

ル)

によって得られる。この増幅比の値が ± 0.01 の範囲内の場合には急激な音圧変化はないと見なし、これよりも大きな値の場合には音圧が急激に変化したものと見なし、その部分を区間の区切りとして、その定常区間をさらに細かく分離する。例えば、図18(B)の場合には、定常区間の第16番目と第17番目が 0.01 よりも大きいので、その部分は音圧レベルの急激な変化部分と見なされる。従って、初期分割区間のように3つの区間に分割される。ところが、人間が音を感知できるのは、 0.01 秒から 0.1 秒程度なので、それに応じて区間の最低長を決め、それ以下の区間は次の区間と繋げることとする。従って、図18(B)の初期分割区間の2番目の区間(○印の部分)は3番目の区間に繋がられて、最終的には初期分割区間の右側に示すような2区間に分割されることになる。

【0040】図19は、図4の定常区間検出処理の概念を示すための図である。図19において、有効区間は図3の有効区間検出処理によって検出された結果である。同波形区間はステップ41からステップ46までの処理によって得られた区間である。同音高区間は、ステップ47の音高変化の急激な部分で同音高区間をさらに細かく分割することによって得られた区間である。同音圧区間はこの同音高区間をさらに音圧変化の急激な部分で分割することによって得られた区間である。なお、ノート距離及び増幅比でそれぞれ定常区間(同波形区間)を分割する場合について述べたが、分割された結果のいずれか一方だけを採用してもよいし、両方を採用してもよい。両方採用する場合に前述と同様に区間の最低長による調整を行うようにしてもよい。また、ノート距離及び増幅比で分割する場合に、いずれか一方の分割処理を優先的に行い、その結果分割されなかった場合に限り他方の分割処理を行うようにしてもよい。

【0041】図5は図1のステップ15の音高列決定処理の詳細を示す図である。ステップ14によって検出された各定常区間に対して最適な音高列を決定する。なお、この実施の形態では、4種類の音高列決定処理について、図20から図25までの図面を用いて説明する。音声や楽音などを最終的に音符情報に変換する場合、ある特定周波数をどの音高に丸めるかによってメロディが大幅に変わってしまい、思ったような検出ができない場合が多い。そこで、この実施の形態では、相対音を主体として音高を決定し、さらにそれに調を利用して一番ふさわしい音高遷移を選択することによって音高列を決定するようにした。まず、音高列決定処理の第1の実施例である音高列決定処理1について、図5のフローチャートに従って説明する。

ステップ51：ステップ13(図3)の有効区間検出処理及びステップ14(図4)の定常区間検出処理によって得られた各定常区間に対してその区間の代表周波数を

決定する。図20(A)は、最終的に得られた定常区間の一例を示す図である。ここでは全部で12個の区間が検出されたものとして、各区間に括弧記号で囲まれた〔0〕～〔12〕の区間番号を割り当ててある。各定常区間の代表周波数を決定する場合に重要なことは、各定常区間の周期位置から周波数の動向を洗い出して、その区間固有の周波数を1つに決定することである。そのための方法として、第1の方法は定常区間全体の平均周波数をその区間の代表周波数とする。第2の方法は定常区間の丁度中間付近の周期(周波数)をその区間の代表周波数とする。第3の方法はピッチが安定している部分の平均周波数をその区間の代表周波数とする。なお、この実施の形態では、図1のステップ14の定常区間検出処理の際に算出した誤差率を用いて代表周波数の算出処理を行う。すなわち、図4のステップ45の定常区間拡張処理前の同波形区間検出処理を利用して、その中で所定値(例えば10)以下の誤差率の並んだ安定した定常区間における周波数の平均を算出し、それをその定常区間の代表周波数とする。例えば、図4のステップ44の同波形区間検出処理で、隣接する区間の誤差率が10以下の場合を波形が一致すると判断して、定常区間を検出したとする。この場合(定常区間拡張処理前)の定常区間を構成する各波形区間の情報が図20(B)のようになっていたとする。すなわち、図20(B)に示すように定常区間は誤差率10以下の12個の波形区間で構成される。各波形区間の周期長及び誤差率は図示の通りである。この場合、この定常区間における周期長の平均値は、 255.833 となる。ここで、周期長はサンプリング数で表されているので、サンプリング周波数が 44.1 kHz だから、この定常区間の代表周波数は、その周期長の平均値でサンプリング周波数を除することによって得られ、図20(B)の場合には 172.38 Hz となる。この場合、代表周波数の値は小数点2桁を有効として扱う。図20(C)はこのようにして図20(A)のような各定常区間の代表周波数を算出した結果を示す図である。

【0042】ステップ52：ステップ51の処理によって各定常区間の代表周波数が決定されると、今度はその代表周波数に基づいて各定常区間の相前後する定常区間番号同士のノート距離を決定する。ノート距離の決定は図4のステップ47で用いた演算式と同様にして求める。図20(C)にはこのようにして算出されたノート距離の一例が示されている。

ステップ53：算出されたノート距離の小数点以下1桁を四捨五入して、ノート距離を12音階上の各音高へ丸め込む。例えば、図20(C)の場合には、各ノート距離は四捨五入されて、右欄の実数のようになる。この実数は、前音高からのノート番号上の差を示すことになるので、最初の音高を決定することによって、音高列データを完成することが可能となる。図20(C)の最右欄

に示す音高列データが最初の音高を0とした場合の音高遷移のようすを示すデータである。すなわち、図20(C)の場合には0-2-4-5-2-3・・・となる。

ステップ54:第1音の音高を決定する。まず、最も簡単な方法は、第1音にデフォルト値として60のノートナンバ(ノートネームC4)音を割り当てる。すなわち、MIDI規格の場合、ノートナンバの限界は0~127なので、第1音の音高として、ノートナンバ60(ノートネームC4)の音を割り当てる。これによって、高音側(プラス側)には67半音分、低音側(マイナス側)には60半音分だけ音高を振ることができる。このようにすると図20(C)の最右欄の音高列を示すデータは、60(C4)-62(D4)-64(E4)-65(F4)-62(D4)-63(D#4)・・・となる。

【0043】ステップ55:ステップ54で決定された音高列データを修正する。すなわち、ステップ54で決定された音高列データの振れ幅を検出し、それが低音側(マイナス側)に-60以下に振れている場合には、その最小振れ幅に合わせてデフォルト値60を修正する。この修正は、最小振れ幅のノートが0以上となるようにデフォルト値を上側にシフトすることによって行う。例えば、最小振れ幅が-64の場合には、計算式 $-60 - (-62) = 4$ の結果に従って、デフォルト値60を4ノート分上側にシフトして、第1音として64を割り当てる。高音側(プラス側)に+67以上振れている場合にも同様に最大振れ幅に合わせてデフォルト値60を修正すればよい。なお、低音側(マイナス側)及び高音(プラス側)の両方において振れ幅がオーバーすることは人間の発声帯域から判断してあり得ないので、そのような場合は除外する。なお、このようなことが起こり得るような場合には、特別に音域を0~256の範囲で設定するようにしてもよい。なお、ステップ54では、第1音の音高をデフォルト値(例えば60)として決定し、音高列データを作成する場合について説明したが、これに限らず、最初の定常区間の代表周波数に最も近い純正率音階の周波数を検出し、その音階に当てはめるようにしてもよい。例えば、図20(C)の場合には、区間番号〔0〕の代表周波数は172.38Hzなので、第1音の音高をそれに最も近いノートナンバ53(ノートネームF3)に決定する。これによって、図20(C)の音高列を示すデータは、53(F3)-55(G3)-57(A3)-58(A#3)-55(G3)-56(G#3)・・・となる。

【0044】次に、音高列決定処理の第2の実施例である音高列決定処理2について、図6のフローチャートに従って説明する。この音高列決定処理2におけるステップ61及びステップ62の処理は、前述の図5のステップ51及びステップ52と同じなので、ここでは、ステ

ップ63からの処理について説明する。

ステップ63:算出されたノート距離を用いて、複数スケール上の各音高に丸めた場合のノート割当誤差の累計処理を行う。すなわち、この実施の形態では、自然的音階、和声的音階、旋律的音階の3種類の音階について、それぞれ丸めた場合の適合度を算出する。自然的音階は図21に示すように全音、半音、全音、全音、半音、全音、半音の順番に割当可能音が並んでいる。また、和声的音階は全音、半音、全音、全音、半音、3半音(全音+半音)、半音の順番に並んでいる。また、旋律的音階は、上昇時には全音、半音、全音、全音、全音、全音、半音の順番となり、下降時に自然的音階と同じような順番の並びになっている。図21では○印が音階構成音として採用可能なものを示し、×印は音階構成音として採用不可のものを示す。図21の各音階について、最初の音が各○印の音高から始まったものと仮定して、各定常区間番号の音を×印を選択しないように順次割り当てる。このときに、定常区間番号の音と割り当てられた音との間の音高差すなわちノート割当誤差を算出し、それを累計する。例えば、定常区間番号〔0〕に対するノート距離が図20(C)のような音高列データの場合に、定常区間番号〔5〕までを図21の自然的音階に割り当ててみる。まず、図20(C)の定常区間番号〔0〕の音は最初の音なので図21の自然的音階のノート位置(0)に割り当てられる。次に図20(C)の定常区間番号〔1〕の音は定常区間番号〔0〕の音に対してノート距離が1.7158なので、ノート距離としては半音又は2半音(全音)が選択されるべきである。このとき、自然的音階ではノート距離で半音の音すなわちノート位置(1)は×印なので、ここは選択されないで、ノート距離で2半音(全音)の音すなわちノート位置(2)に割り当てられる。従って、ノート距離1.7158の音がノート位置(2)に割り当てられたので、定常区間番号〔1〕の音のノート割当誤差は、実際に割り当てられたノート位置(2)までのノート距離2と定常区間番号〔0〕と定常区間番号〔1〕とのノート距離1.7158との差分となり、その値は0.2842となる。次に、定常区間番号〔2〕の音は定常区間番号〔1〕の音に対してノート距離が2.1557なので、ノート距離として全音又は3半音(全音+半音)が選択される。定常区間番号〔1〕の音は前回の処理で、ノート位置(2)に割り当てられているので、定常区間番号〔2〕の音はノート距離全音又は3半音(全音+半音)のノート位置(4)又は(5)に割り当てられることになる。このとき、自然的音階ではノート位置(4)の音は×印なので、定常区間番号〔2〕の音はノート位置(5)に割り当てられることになる。従って、ノート距離2.1557の音がノート距離3に対応するノート位置(5)に割り当てられることになる。従って、定常区間番号〔2〕の音のノート割当誤差は0.8443となる。前

回の定常区間番号〔1〕の場合と今回の定常区間番号〔2〕の場合との累計は、 $0.2842 + 0.8443 = 1.1285$ となる。このようにして、残りの定常区間番号〔3〕から定常区間番号〔5〕までの音について計算を行い、ノート割当誤差の累計値を算出すると、 2.233 となる。この値は、自然的音階のノート位置（0）を出発音とした場合である。従って、このノート割当誤差の累計値の計算を自然的音階のノート位置（2）、（3）、（5）、（7）、（8）、（10）についても行い、同じく和声的音階及び旋律的音階の各ノート位置についても行う。図22（A）は、このようにして、各音階について、各ノート位置を出発音とした場合におけるノート割当誤差の累計値を示す図である。

【0045】ステップ64：複数スケール上の各音高に丸めた場合におけるノート割当誤差が0.5以上のものの累計値を算出する。すなわち、ステップ63の場合は、ノート割当誤差の全ての値の累計値を算出したが、このステップでは、ノート割当誤差が0.5以上の場合、すなわち図20（C）の場合、定常区間番号〔1〕はノート距離（2）の位置に、定常区間番号〔2〕はノート距離（3）の位置に丸められることがノート割当誤差も小さく理想的であるが、前述のように音階によっては×印であって、割り当てることのできない場合が存在する。このような場合には、ノート距離に最も近い音高以外の音高に割当が修正されることになる。従って、このような場合、すなわちノート割当誤差が0.5以上の場合を、ノート修正誤差として、その累計値を算出する。図22（B）がこのノート修正誤差の累計値を示す図であり、図22（A）に対応している。

ステップ65：前記ステップ64でノート割当誤差が0.5以上のノート数、すなわちステップ64の累計値の算出に使用したノート数の合計を計算する。図22（C）がこのノート数の合計を示す図であり、図22（B）に対応している。

【0046】ステップ66：前記ステップ63から前記ステップ65までの処理の結果、すなわち図22（A）～（C）の算出結果を利用して、一番ふさわしい音階と、その始まり音を決定する。この決定方法には図22（A）のノート割当誤差の累計値の最も小さいもの、図22（B）のノート割当誤差0.5以上の累計値の最も小さいもの、図22（C）のノート割当誤差0.5以上のノート数の最も少ないもの、これらを適宜組み合わせたものなどが考えられる。ただし、近親調（関係調）などによって、最終的に1つに決定するとは限らない。このような場合には、どれを利用しても同じメロディ遷移となるので、どの決定方法を選択してもよい。従って、図22（A）において、ノート割当誤差の累計値の最小値は1.688であり、自然的音階に2カ所、和声的音階に1カ所、旋律的音階に1カ所の合計4カ所に存在する。次にこの4カ所について、図22（B）最小値を探

す。すると、4カ所とも0.891で同じ値である。従って、これら4カ所のどれを選択してもよいことになるが、ここでは、上側音階を優先し、左側ノート位置を優先することとする。従って、最終的には、音階は自然的音階が決定し、始まり音は3度に決定する。なお、図22では音階の表示を統一するために、短音階で表示していたので、自然的音階の3度始まりの音は、自然（長）音階の1度（トニック）音ということになる。

10 ステップ67：前記ステップ66で決定した音階と始まり音に基づいて、再度ノート割当誤差の算出処理と同じ処理を行い、音高列を決定する。このようにして、図20（C）の定常区間番号に割り当てられた音高列を図22（D）に示す。図20（C）の場合には音高列は0-2-4-5-2-3・・・であったが、今回の音高列は0-2-4-5-2-4・・・である。これから明らかなように定常区間番号〔5〕の音高列が『4』であり、図20（C）の『3』と異なっていることがよく理解できる。

20 【0047】図6の音高列決定処理2の場合は、音階を使って音を丸めることで、不安定な音がスケール音に丸められるため、比較的安定したメロディに近づくのでユーザの所望の音に近づく可能性が極めて高い。しかしながら、音感のよいユーザが音階構成音以外にわざと音をずらしてメロディを入力した場合には、このように音階構成音に音を丸めるという処理は不適切である。最終的にはメロディの善し悪しを判断しなければならない場合もありうるが、それは現在の技術では不可能なため、図6の音高列決定処理2のように音階を意識しながら音を丸めて、特殊な音に限り、音階構成音以外の音でも認めるようにすればよい。音階構成音以外の音とのノート距離がある一定値以下の場合には、スケール構成音以外の音であってもその音に丸めるという処理を行う。これは、図5の音高列決定処理1と図6の音高列決定処理2との間に位置する中間的な音の丸め処理に該当する。図6の音高列決定処理2によって、自然短音階の3度が始まり音だと決定した後（すなわちステップ66の処理の後）に、ノート誤差許容範囲を決定する処理を行う。この処理は、予めノート誤差許容範囲として0.2などの定数を設定する方法と、計算によって求める方法とがある。計算によって求める方法は、図6のステップ63の処理で音階構成音に丸める処理を行う時に、ノート距離が0.5以下で丸められた場合におけるそのノート距離の平均値を算出し、ユーザ（発声者）の音高ずれの傾向を把握して、その平均値の定数倍をノート誤差許容範囲とする方法が考えられる。この実施の形態では、ノート許容誤差範囲として定数値の0.2を採用した場合について、図20（C）の各定常区間にどのような音高列が割り当てられるのかを説明する。まず、図6のステップ66の処理によって、自然短音階の3度が始まり音だと決定するので、定常区間番号〔1〕のノート距離は1.

7 1 5 8なので、一番近い音高は4度すなわちノート位置(5)の音となる。この場合はそのまま近い音高に丸めてしまえば問題ないので、ノート位置(5)の音が決する。次に定常区間番号〔2〕、〔3〕、〔4〕については同様にして音階内の音として、ノート位置(7)、(8)、(5)が次々と決する。ところが、定常区間番号〔5〕については、ノート距離が1. 1093であり、定常区間番号〔4〕がノート位置(5)に決しているので、一番近い音高はノート位置(6)となる。このノート位置(6)の音高は音階構成音以外の音である。従って、この場合にはノート許容誤差範囲内かどうかの判定が行われる。この場合には、ノート距離が1. 1093なので、誤差は0. 1093となり、ノート許容誤差範囲の0. 2以下なので、音階構成音以外の音ではあるが、このノート位置(6)が採用されることになる。なお、定常区間番号〔5〕のノート距離が例えば1. 2093であったら、誤差は0. 2093となり、ノート許容誤差範囲の0. 2よりも大きいため、ノート位置(6)とはならず、その一つ上の音階構成音であるノート位置(7)の音に決することになる。このようにノート許容誤差範囲を設定して、音階構成音以外の音も音高列に加えることができるようにすることによって音階を使いながらも音階構成音以外の音にも配慮でき、人がイメージして歌ったメロディに近い音高列を決することが可能となる。

【0048】次に、音高列決処理の第3の実施例である音高列決処理3について、図7のフローチャートに従って説明する。前述の音高列決処理1、2では、直前の音とのノート距離に基づいて音高列を決する場合について説明したが、一連のフレーズにおいては直前の音とのノート距離だけで次の音高が決することはなく、フレーズの流れすなわち音高列を構成する音はそのフレーズの先頭の音に対して影響するので、ここでは、フレーズを検出し、音高列の決について、そのフレーズ先頭の音との音高差を考慮して音高列を決するようにした。

ステップ71：図4の定常区間検出処理によって検出された定常区間の長さを音価列(時価列)のグリッド数で表した場合にどれくらいになるのか決する。定常区間が図23(A)のような場合、各定常区間の先頭から次の定常区間の先頭までを1つの区間として図23(B)のような音価基準を作成する。1秒間の数百分の一程度を1グリッドとした場合に、これらの音価基準がそのグリッドの何個分で構成されるかを決する。図23(C)が音価列を決するためのグリッドである。従って、図23(B)のような音価基準を図23(C)のグリッドに適合させるために、各音価基準の位置を修正する。例えば、音価基準の境界位置がグリッドとグリッドの間に位置する場合には、最も近いグリッドに音価基準の境界位置を変更する。なお、グリッドとグリッドのち

ように中間に位置する場合には、前側のグリッドに音価基準の境界位置を変更する。このようにして音価基準の境界位置が変更されたものが、図23(D)の音価区間である。図23(D)の音価区間の上側には定常区間番号と同じ音価区間番号が、その下側にはその各音価区間のグリッド数が示されている。グリッド数の並びは、4, 4, 5, 6, 3, 6, 11, 4, 7, 3, 5, 3, 10, ...のようになっている。

【0049】ステップ72：このように各音価区間の長さがグリッド数で規定されたので、今度は、そのグリッド数に基づいて複数の音価区間を纏めて1つのフレーズを構成する。フレーズを構成する手法は、本願の出願人が先に出願した特願平7-123105号に記載してあるので、ここでは簡単に説明する。まず、一つの音価区間が一つの音符に対応するので、各音価区間の長さに基づいて音価区間の平均の長さ(平均音価区間長)を算出する。算出した平均音価区間長に所定係数K(1以上の値であり、例えば2)を乗じることによって乗算値を得る。このようにして得られた乗算値以上の値の音価区間長を検出する。検出された音価区間の後にフレーズの区切りを示す区切りデータを挿入する。区切りデータによって区切られた音価区間が一つのフレーズを構成することになる。今度は、このようにして纏められた各フレーズ毎に平均音価区間長を算出する。算出された平均音価区間長に所定係数L(1以上の値であり、例えば2)を乗じ、各フレーズの最後の音価区間の長さすなわち終端音価区間長がこの乗算値よりも小さい場合には、そのフレーズの最終音価区間の後に挿入されているフレーズ区切りデータを削除する。終端音価区間長が乗算値以上の場合には何もしない。このようなフレーズ削除処理を全フレーズに対して行う。例えば、図23(D)の場合は、グリッド数の合計は、

$$4 + 4 + 5 + 6 + 3 + 6 + 11 + 4 + 7 + 3 + 5 + 3 + 10 = 71$$

である。これを区間数13で割ると、 $71 \div 13 = 5.46$ となる。小数点一桁で四捨五入すると、平均音価区間長は5となる。この5に所定係数2を乗じた値は10となる。従って、音価区間長が10以上である音価区間は、音価区間〔6〕と音価区間〔12〕である。従って、これらの音価区間〔6〕及び〔12〕の後に区切りデータが挿入されるので、図23(E)に示されるように第1フレーズは音価区間〔0〕～〔6〕の7個で構成され、第2フレーズは音価区間〔7〕～〔12〕の6個で構成される。

【0050】ステップ73：ステップ72で決されたフレーズの各音価区間の代表周波数を決する。ここで、音価区間は前述の図5の音程列決処理1の定常区間に相当するので、ステップ51と同じ方法で音価区間の代表周波数を決する。

ステップ74：フレーズ先頭音すなわちフレーズの先頭

の音価区間の代表周波数との間でノート距離を決定する。音程列決定処理1及び2では、直前の定常区間との間だけでノート距離を算出していたが、ここでは、フレーズの先頭の音価区間〔0〕の代表周波数を基準として、そのフレーズの各音価区間のノート距離を決定する。図24は、第1フレーズの音価区間〔0〕～〔6〕における代表周波数の値と、第1フレーズの先頭の音価区間〔0〕と、第1フレーズを構成する各音価区間〔1〕～〔6〕との間のノート距離の値を示す図である。

ステップ75：前記ステップ75で算出されたノート距離に基づいて、前述の音程列決定処理1のステップ53からステップ55までの処理、又は音程列決定処理2のステップ63からステップ66までの処理を行い、所定の音程列を決定する。

【0051】次に、音程列決定処理の第4の実施例である音程列決定処理4について、図8のフローチャートに従って説明する。前述の音程列決定処理3では、フレーズの先頭音すなわちフレーズの先頭に位置する定常区間の音との間でノート距離を算出して音程列を決定する場合について説明したが、一連のフレーズにおいてはフレーズ先頭音だけではなく、その該当する音が発音されるまでに発音された音に対して影響することもあるので、ここでは、フレーズを検出し、音程列の決定について、各フレーズにおいて、その音が発音されるまでに発音された音との関係を考慮して音程列を決定するようにした。ステップ81からステップ83までの処理は、ステップ71からステップ73までの処理と同じなので説明を省略する。

ステップ84：フレーズ内の各前置音との間におけるノート距離を決定する。図23(E)の第1フレーズについてこのノート距離を求める。まず、第1フレーズの音価区間〔0〕については前置音が存在しないので、ノート距離は存在しない。音価区間〔1〕については前置音として音価区間〔0〕が存在するので、そのノート距離は1.7158となる。音価区間〔2〕については前置音として音価区間〔0〕と〔1〕が存在するので、それぞれのノート距離を求めると、3.8715と2.1557となる。以下、同様にして各音価区間の前置音との間のノート距離を算出すると、図25(A)のようになる。

ステップ85：フレーズ内の各前置音との間における時間距離に基づいて重み付けを行う。まず、各音価区間が前置音との間にどれだけの時間差を有するかをそのグリッド数で表す。図23(E)の第1フレーズについてこれを算出すると、その値は図25(B)に示すようになる。音価区間〔0〕については前置音が存在しないので、時間距離は存在しない。音価区間〔1〕については前置音として音価区間〔0〕が存在するので、その時間距離は4グリッドとなる。音価区間〔2〕については前

置音として音価区間〔0〕と〔1〕が存在するので、それぞれの時間距離を求めると、8グリッドと4グリッドとなる。以下、同様にして各音価区間の前置音との間の時間距離を算出すると、図25(B)のようになる。このようにして求められた時間距離に基づいて、その重みを算出する。各音価区間の時間距離をその各音価区間の総和で除した除算値の逆数の総和が100となるように正規化したものを各音価区間の時間距離による重みとする。例えば、図25(B)の音価区間〔2〕の場合は、時間距離は8グリッドと4グリッドである。音価区間〔2〕の時間距離8をその音価区間の総和である12で除した値は $8/12=2/3$ であり、時間距離4をその音価区間の総和である12で除した値は $4/12=1/3$ である。この除算値の逆数 $3/2$ と $3/1$ の総和が100となるには、それぞれの逆数 $3/2$ 及び $3/1$ に $200/9$ を乗じたものである。従って、音価区間〔2〕の区間番号〔0〕に対する重みは33.3となり、区間番号〔1〕に対する重みは66.7となる。このようにして、各音価区間毎に時間距離により重み付けが行われる。図25(C)は図25(B)の時間距離による重み付けしたものの値を示す。

【0052】ステップ86：前記ステップ85の処理によって算出された重みに基づいて各音価区間の音を12音階又は所定の音階上の音に丸める処理を行う。12音階上の音に丸める処理は図5のステップ53～ステップ55の処理を行う。音階上の音に丸める処理は図6のステップ63～ステップ66の処理を行う。この際に、ノート距離として時間距離による重みを参考にする。例えば、図25(C)において、音価区間〔1〕の前置音は音価区間〔0〕の音だけなので、ノート距離は1.7158がそのまま使用される。故に、ノート距離1.7158に最も近い音程として音価区間〔0〕の音よりも全音高い音が選択される。次に音価区間〔2〕について考察すると、音価区間〔2〕の音は音価区間〔0〕に対しては、33.3パーセントの重みで影響を受け、音価区間〔1〕に対しては、66.7パーセントの影響を受ける。このとき、音価区間〔1〕は既に音価区間〔0〕との間でノート距離として『2』が決定しているので、音価区間〔0〕と音価区間〔2〕との間のノート距離3.8715からはそのノート距離『2』を減算した値1.8715となる。一方、音価区間〔2〕と音価区間〔1〕とのノート距離は2.1557である。従って、音価区間〔2〕のノート距離はその重みを考慮して、次のように算出される。

$$(1.8715 \times 33.3 + 2.1557 \times 66.6) / 100 = 2.06$$

従って、音価区間〔2〕のノート距離は2.06となる。このノート距離2.06を用いて、12音階上の音に丸める処理(図5のステップ53～ステップ55の処理)又は音階上の音に丸める処理(図6のステップ63

～ステップ66の処理)を行う。

【0053】

【発明の効果】この発明に係る音信号分析装置によれば、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、音楽的な音が存在する区間（有効区間）を容易に分析することができる。別の発明に係る音信号分析装置によれば、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でも、そのゆれた部分以外の音楽的な音の定常部分すなわち1つの音符に相当する部分を分析することのできる音信号分析装置を提供することができる。さらに別の発明の演奏情報発生装置によれば、マイク等からの入力音のピッチ又はレベルが微妙にゆれた場合でもそのピッチに対するノート情報を確実に発生することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図2の電子楽器が演奏情報発生装置として動作する際のメインフローを示す図である。

【図2】 この発明に係る楽音情報分析装置及び演奏情報発生装置を内蔵した電子楽器の構成を示すハードブロック図である。

【図3】 図1のステップ13の有効区間検出処理の詳細を示す図である。

【図4】 図1のステップ14の定常区間検出処理の詳細を示す図である。

【図5】 図1のステップ15の音高列決定処理の詳細を示す図である。

【図6】 図1のステップ15の音高列決定処理の第2の実施例である音高列決定処理2の詳細を示す図である。

【図7】 図1のステップ15の音高列決定処理の第3の実施例である音高列決定処理3の詳細を示す図である。

【図8】 図1のステップ15の音高列決定処理の第4の実施例である音高列決定処理4の詳細を示す図である。

【図9】 サンプル周波数44.1kHzでサンプリングされた音声信号すなわちデジタルサンプル信号の波形値の一例を示す図である。

【図10】 図1のステップ13の有効区間検出処理の動作例の概念を示す図である。

【図11】 図4のステップ41の周期基準位置検出処理の一例である有効区間内の楽音波形のピーク位置検出処理の動作例の概念を示す図である。

【図12】 図4のステップ42の波形比較処理の中で行われる誤差率の算出方法がどのように行われるのか、その具体例を2個の比較波を用いて示した図である。

【図13】 図4のステップ42の波形比較処理によって、図12の2個の比較波からどのようにして誤差率が算出されるのか、その具体例を示す図である。

【図14】 図4のステップ42の波形比較処理によって、図11(B)のピーク基準位置が修正されて、規則正しいピーク位置が検出される様子を示す図である。

10 【図15】 図4のステップ41の周期基準位置検出処理の一例である有効区間内の楽音波形のピーク位置検出処理の動作例の別の楽音波形に対する概念を示す図である。

【図16】 図4のステップ45の定常区間拡張処理の動作例を示す図である。

【図17】 図4のステップ46の定常部重ね合わせ処理の動作例を示す図である。

【図18】 図4のステップ47の音高・音圧の変化による細分化処理の動作例を示す図である。

20 【図19】 ステップ13によって求められた有効区間の中から定常区間がどのようにして検出されるのか、図4の定常区間検出処理の概念を示す図である。

【図20】 図5の音高列決定処理1の動作例の概念を示す図である。

【図21】 図6の音高列決定処理2で用いられる複数スケールの一例を示す図である。

【図22】 図6の音高列決定処理2の動作例の概念を示す図である。

30 【図23】 図7の音高列決定処理3の動作例の概念を示す図である。

【図24】 図7のステップ74のフレーズ先頭音とのノート距離決定処理の具体例を示す図である。

【図25】 図8の音高列決定処理4の動作例の概念を示す図である。

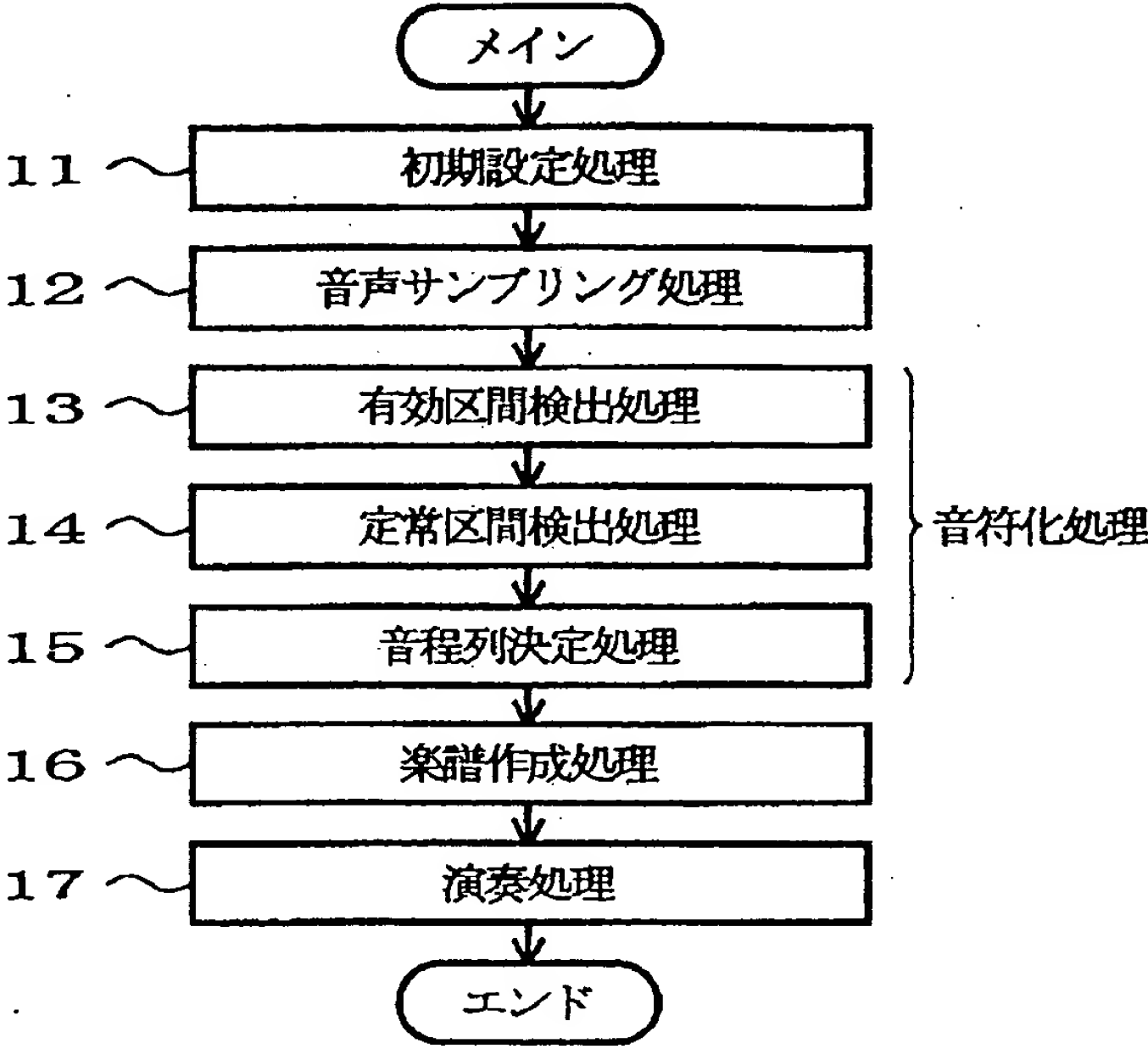
【符号の説明】

1…CPU、2…プログラムメモリ、3…ワーキングメモリ、4…演奏データメモリ、5…押鍵検出回路、6…マイクインターフェイス、7…スイッチ検出回路、8…表示回路、9…音源回路、10…鍵盤、1A…マイクロフォン、1B…テンキー&各種スイッチ、1C…ディスプレイ、1D…サウンドシステム、1E…データ及びアドレスバス

【図19】

有効区間	_____
同波形区間	_____
同音高区間	_____
同音圧区間	_____

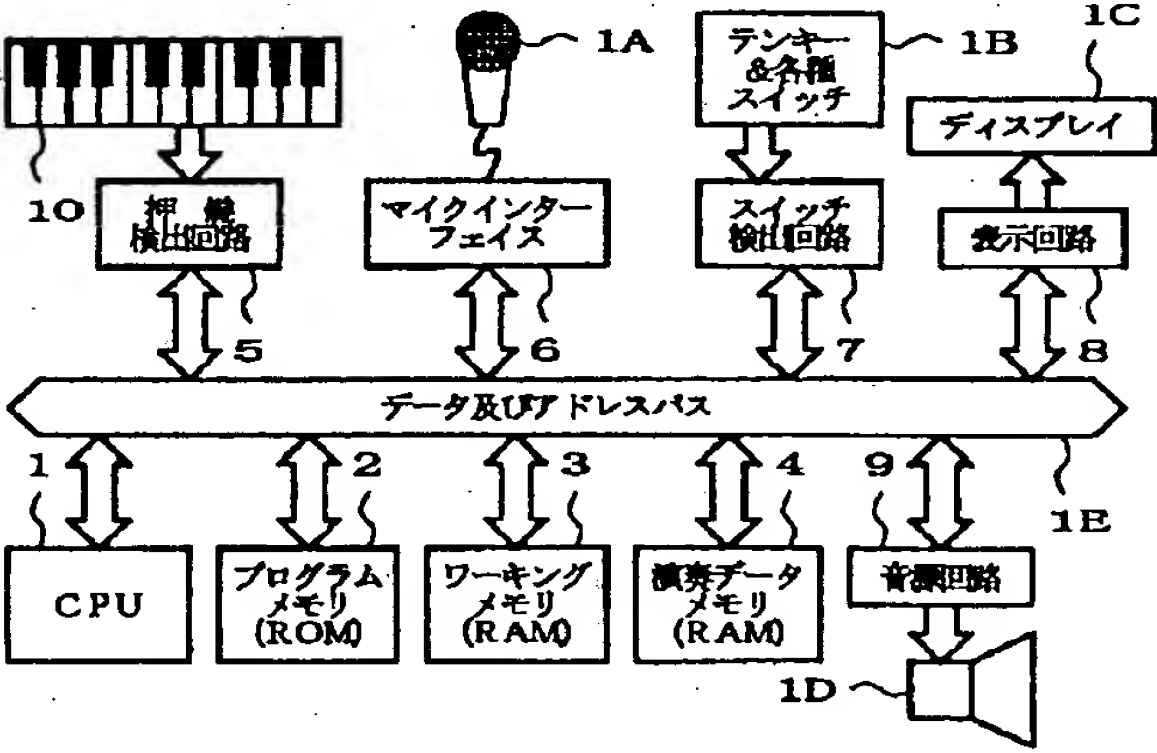
【図1】



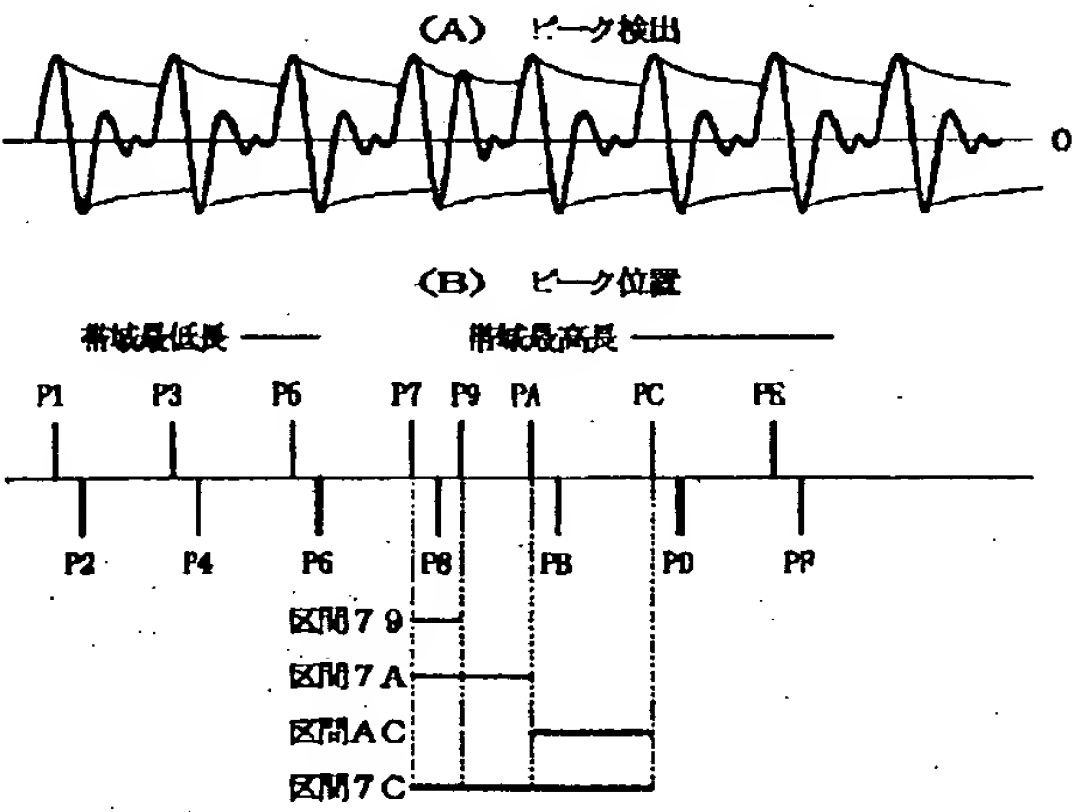
【図9】

波形値	ポイント数 (区間長)	合計	平均
0	1	0	0
15	2	15	8
69	3	84	28
150	4	234	59
200	5	434	86
80	6	514	86
50	7	564	81
10	8	574	72
-9	9	583	65
-26	10	609	61
-67	11	676	61
-90	12	766	64
-189	13	956	73
-214	14	1169	84
-157	15	1326	88
-110	15	1436	96
-50	16	1471	98
-30	16	1432	95
-12	16	1294	86
-6	15	1100	73
...

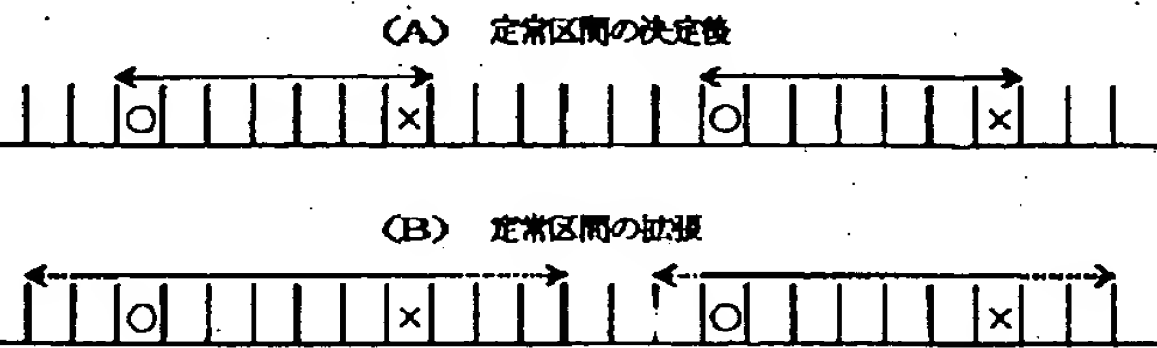
【図2】



【図11】



【図16】

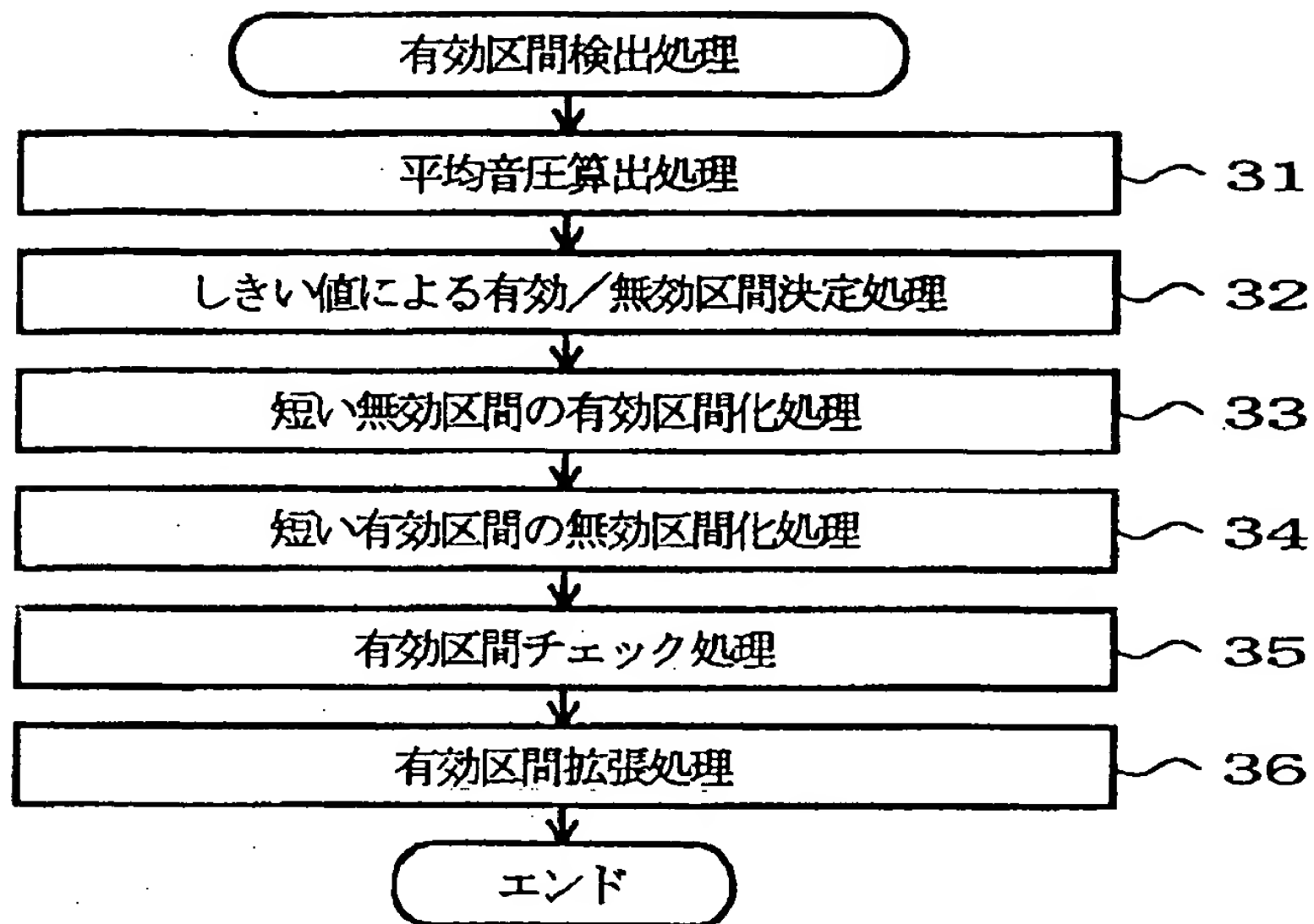


【図21】

ノート位置	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
自然的音階	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	○	×
和声的音階	○	×	○	○	×	○	×	○	○	×	×	○
旋律的音階	○	×	○	○	×	○	×	○	↓	↑	↓	↑

(↑: 上昇の場合許可, ↓: 下降の場合許可)

【図3】

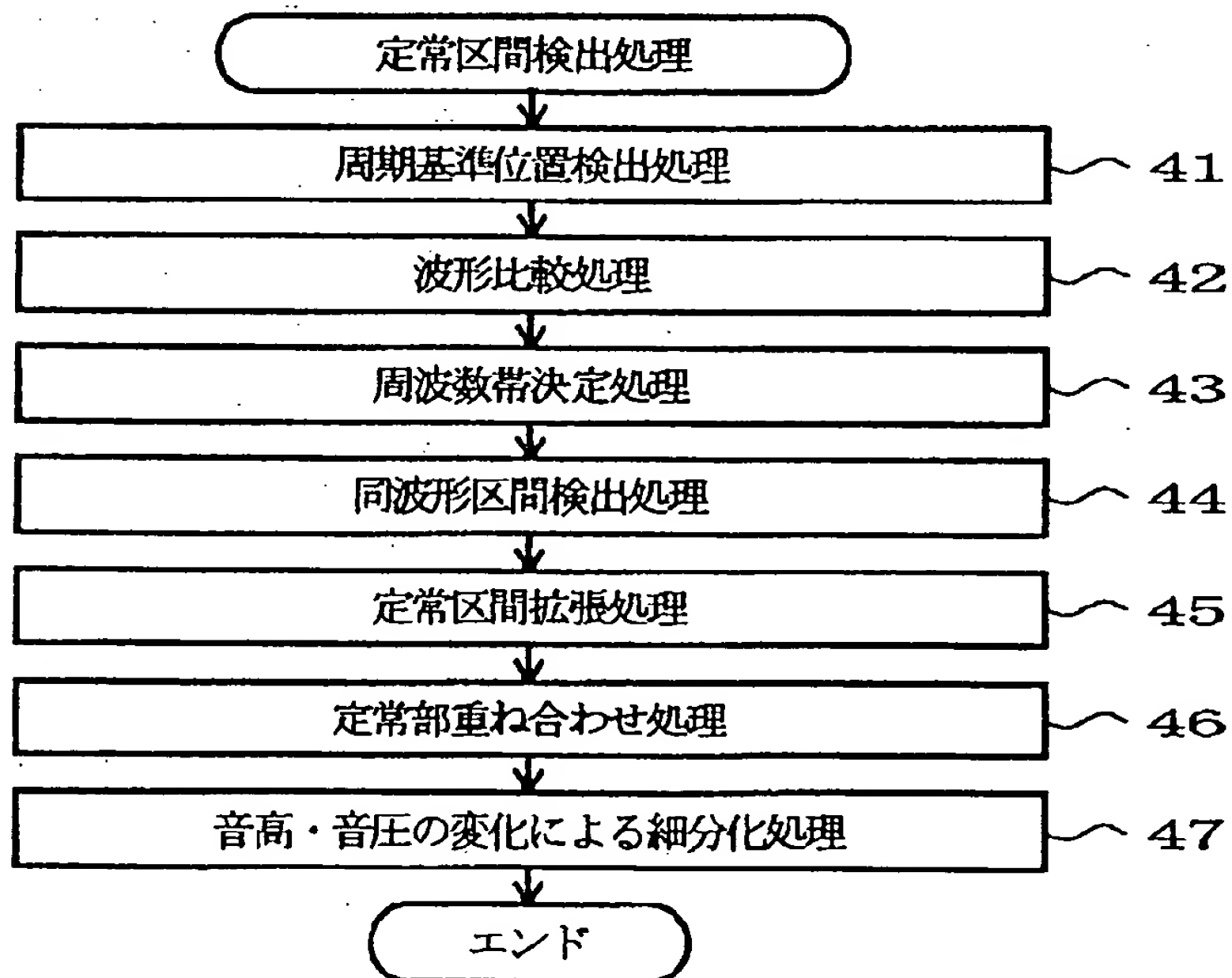


【図24】

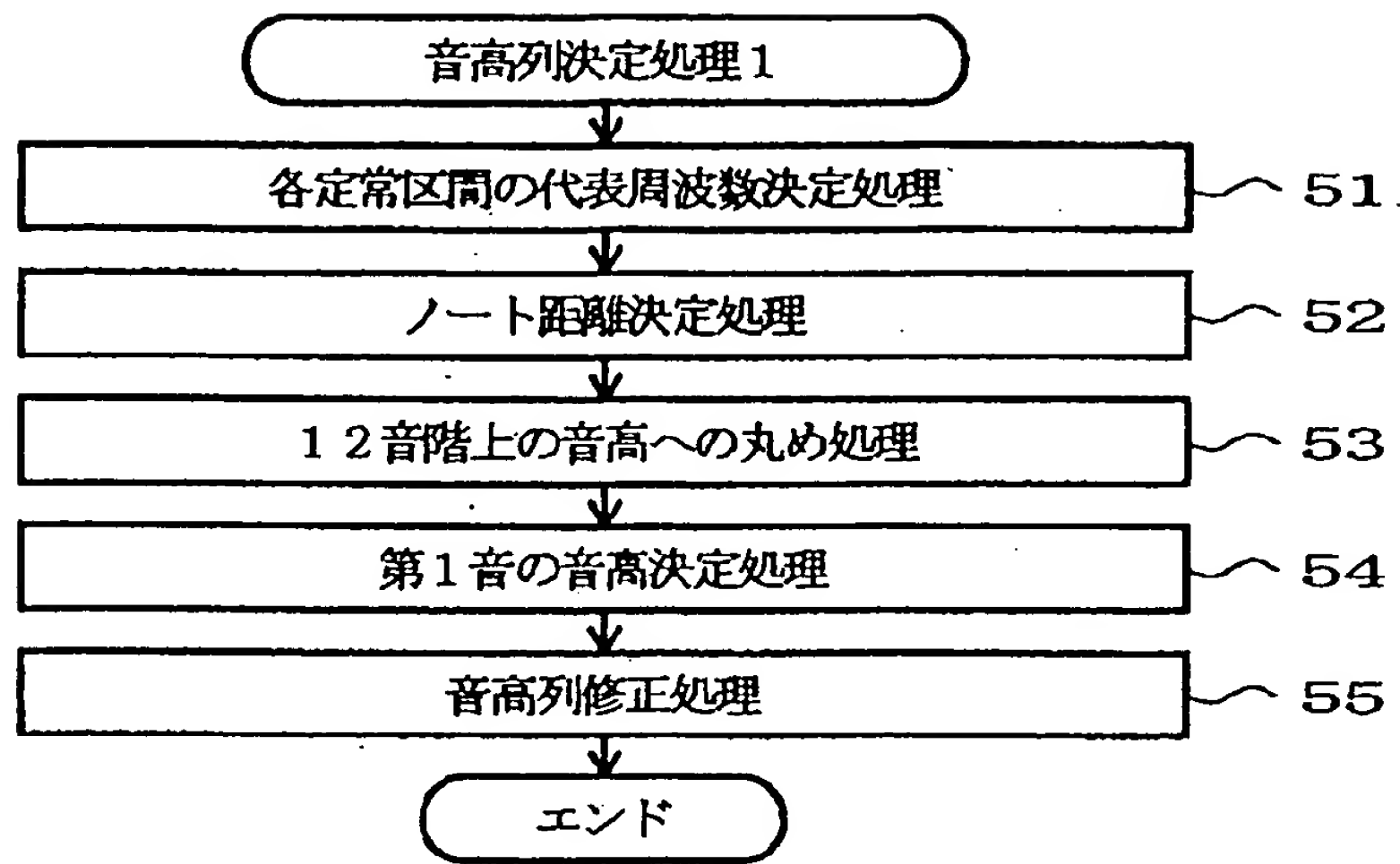
フレーズ先頭とのノート距離

音価区間番号	代表周波数	ノート距離
[0]	172.38	—
[1]	190.34	1.7158
[2]	215.58	3.8715
[3]	226.02	4.6903
[4]	188.13	1.5137
[5]	200.68	2.8230
[6]	170.36	-0.2051

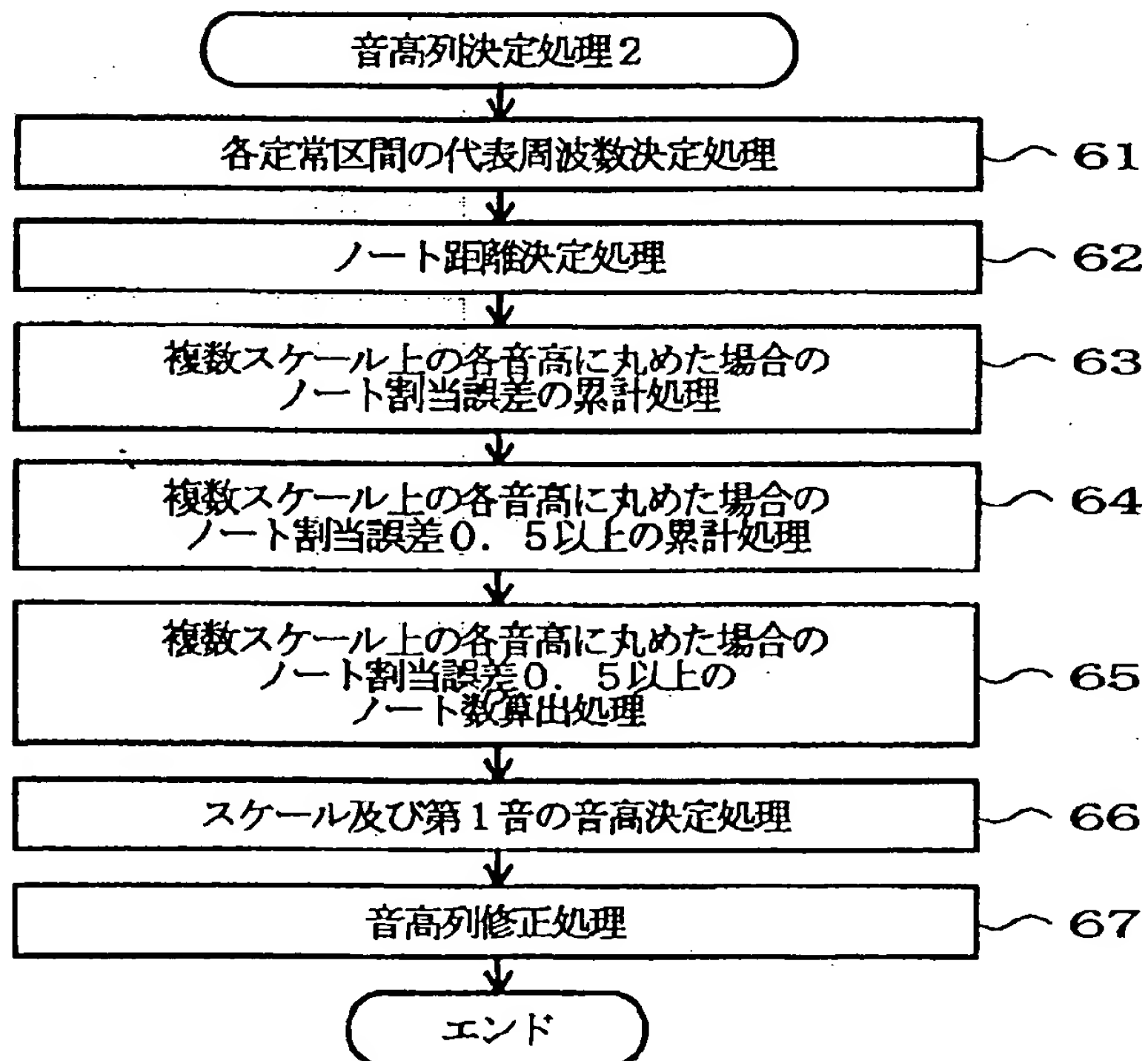
【図4】



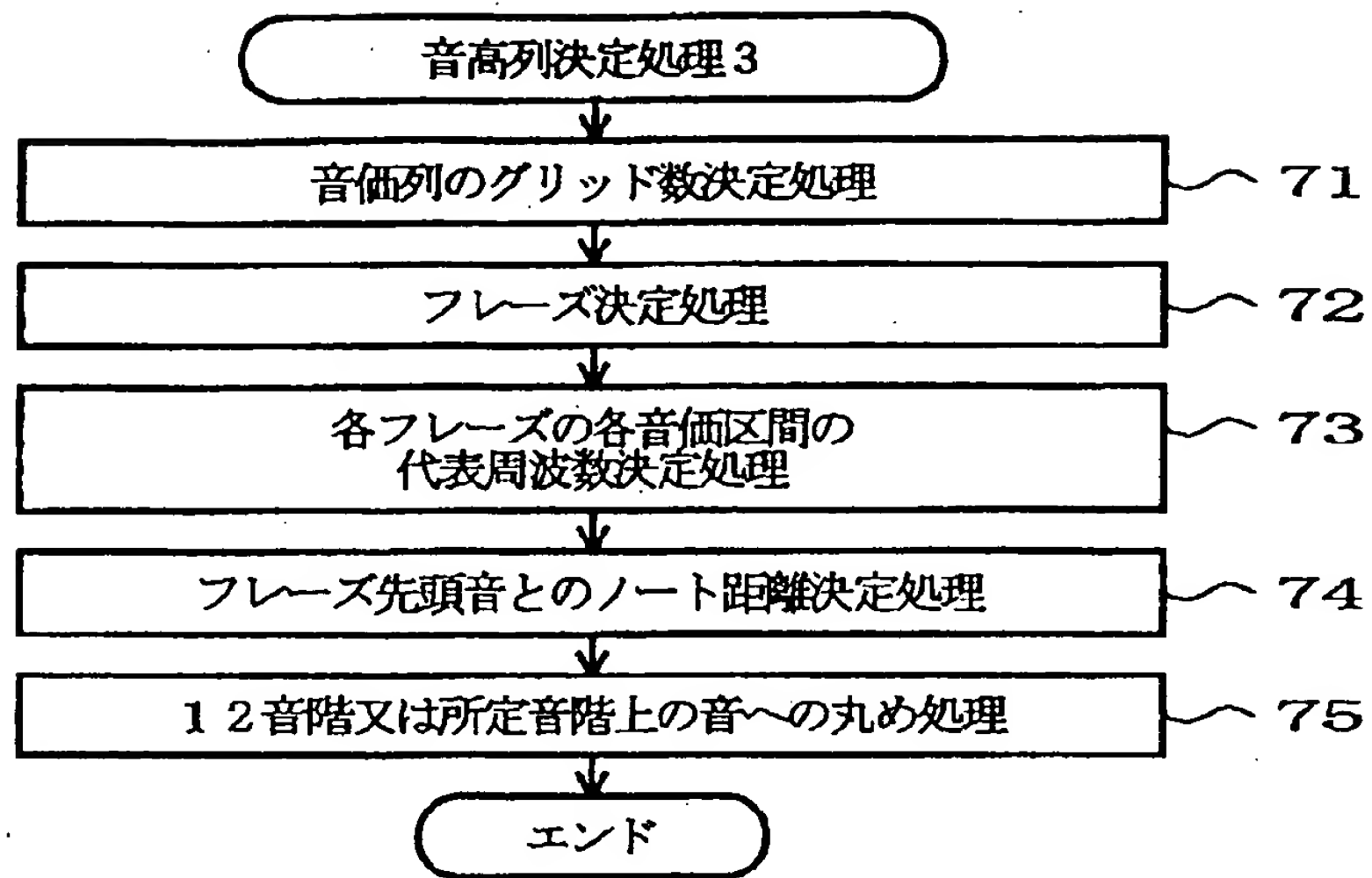
【図5】



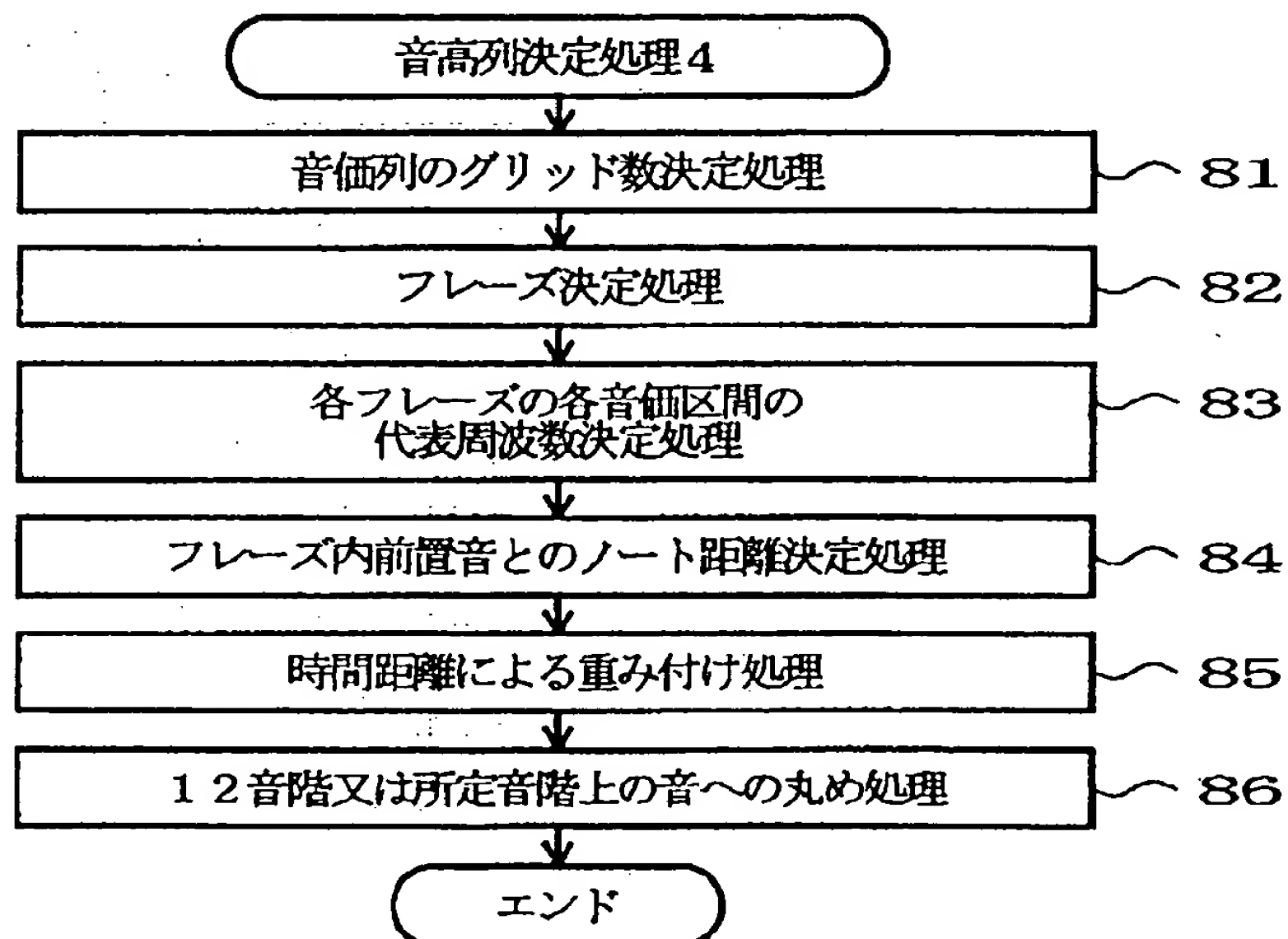
【図6】



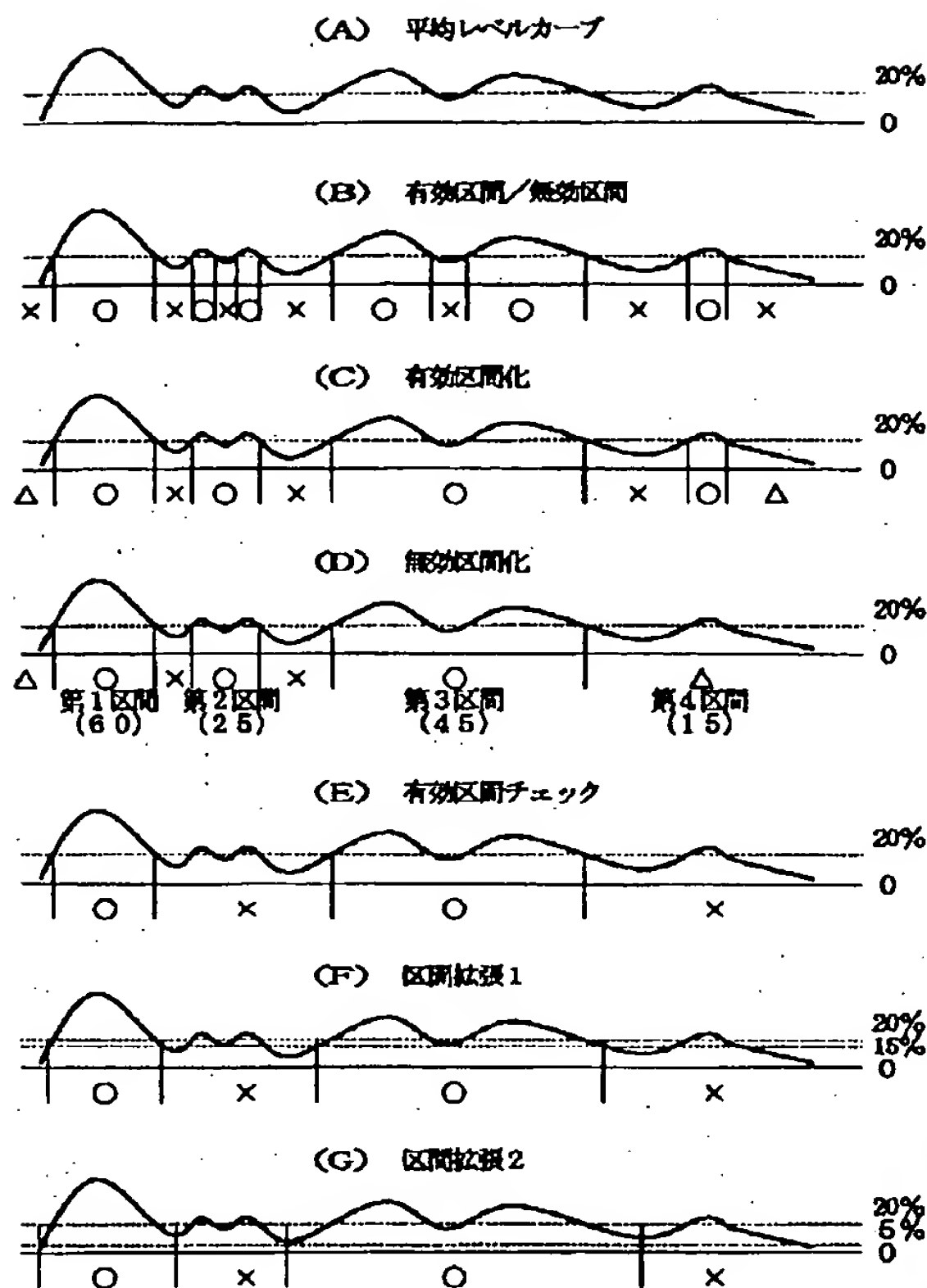
【図7】



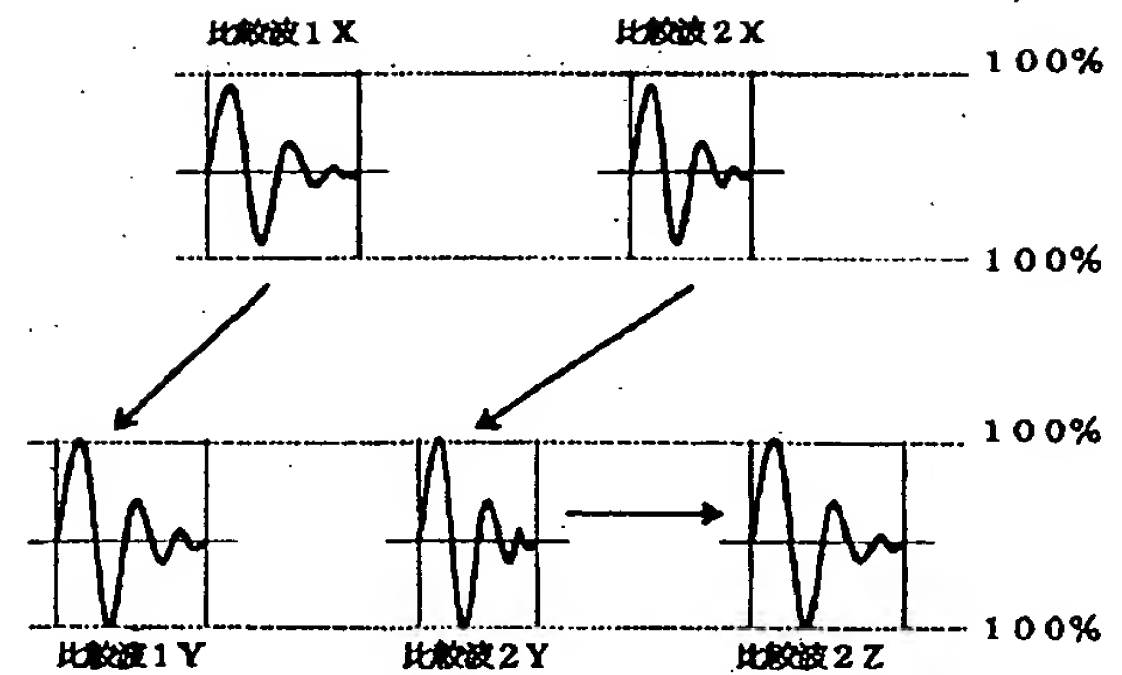
【図8】



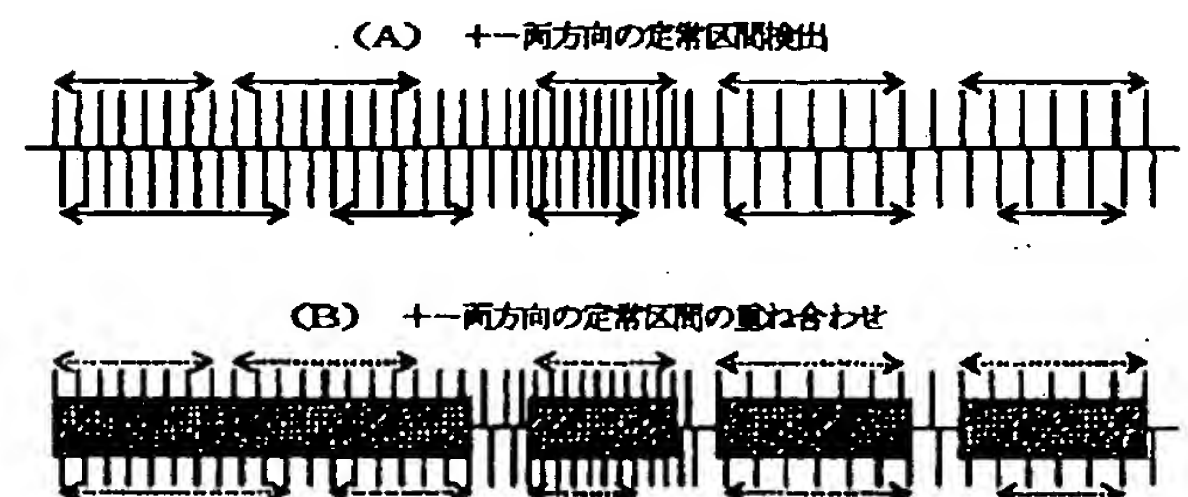
【図10】



【図12】



【図17】

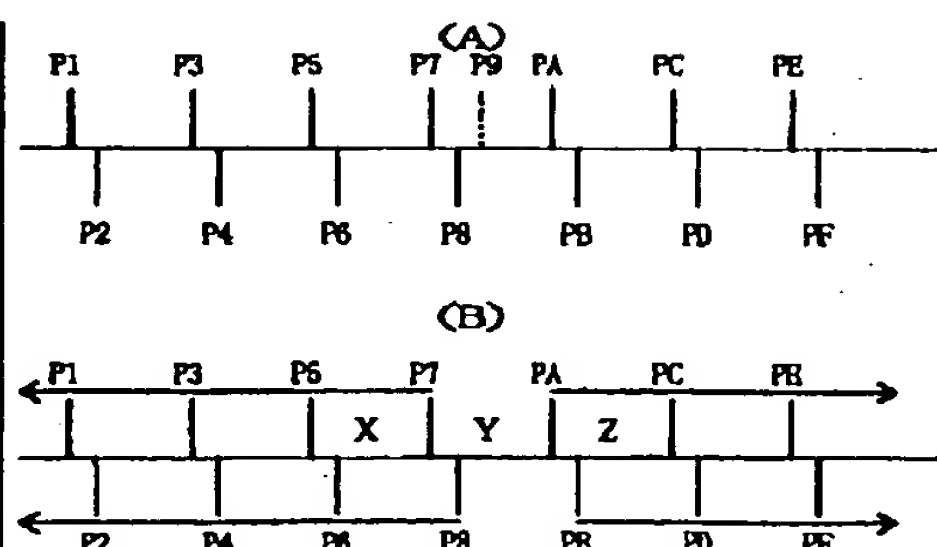


【図13】

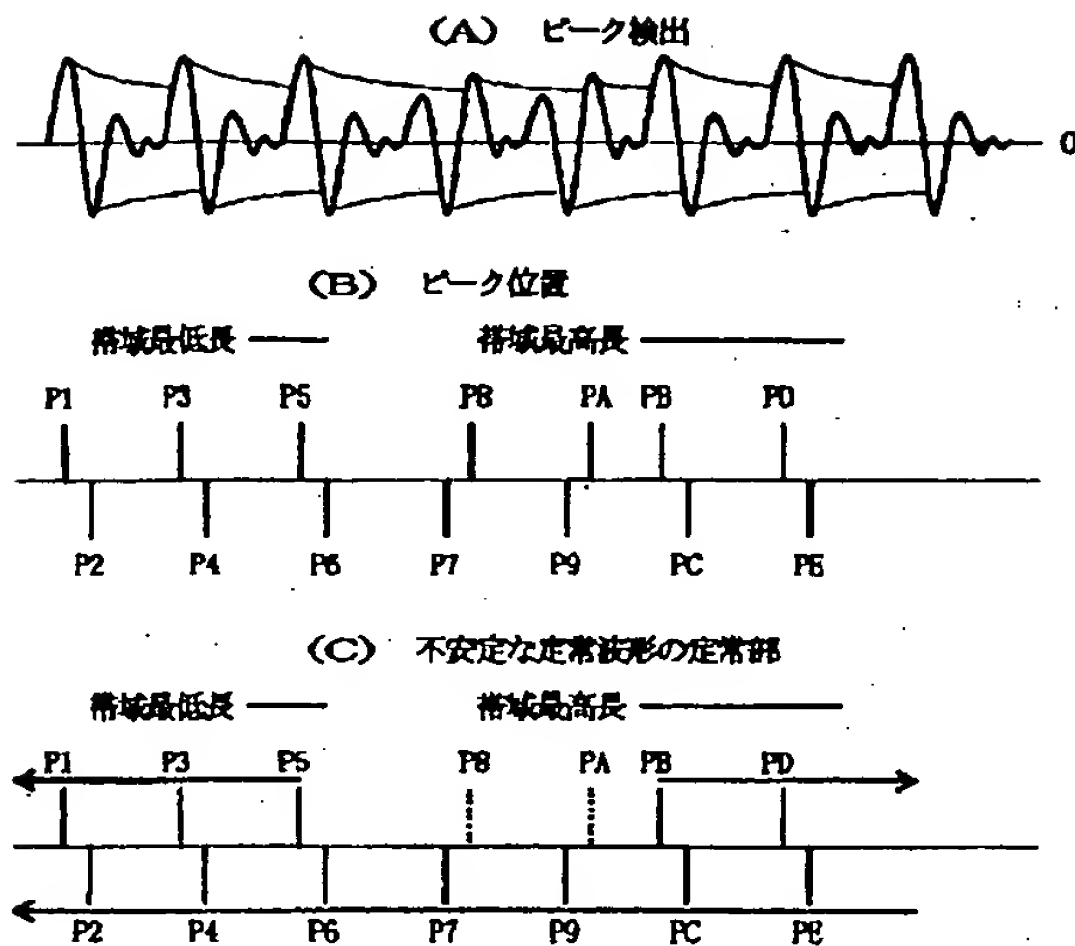
位置	比較波1Y	比較波2Z	差	差の絶対値
0	0	0	0	0
1	26	24	2	2
2	135	152	-17	17
3	208	199	9	9
4	534	540	-6	6
5	829	821	8	8
6	1000	982	18	18
7	995	1000	-5	5
8	653	653	0	0
9	426	430	-4	4
10	164	159	5	5
11	58	60	-2	2
12	-4	3	-7	7
13	-108	-100	-8	8
14	-275	-280	5	5
15	-487	-489	2	2
16	-648	-655	7	7
17	-904	-900	-4	4
18	-1000	-1000	0	0
19	-888	-890	2	2
20	-599	-592	-7	7
21	-412	-409	-3	3
22	-244	-245	1	1
23	-26	-29	4	4

差の合計値: 122

【図14】



【図15】

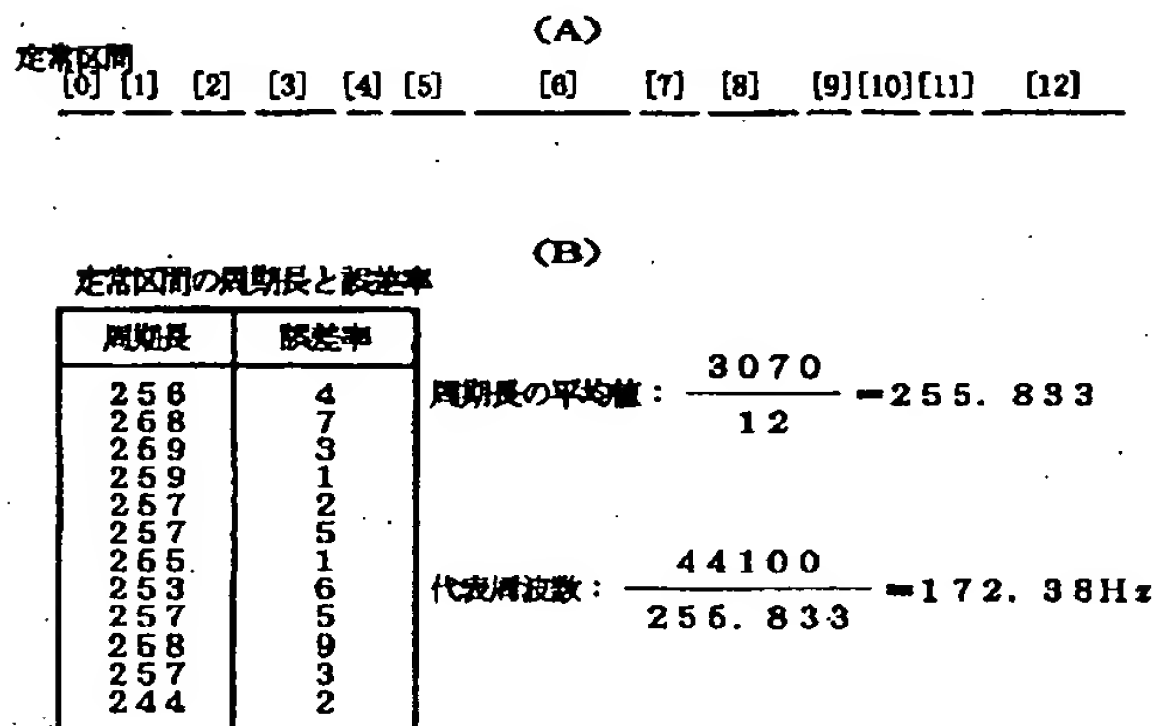


【図18】

周波数	ノート 距離	音圧 レベル	増幅比 (10%)
257	---	935	---
258	0.067	938	0.00139
258	0.000	938	0.00046
259	0.067	939	0.00000
257	-0.135	935	-0.00189
256	-0.088	932	-0.00140
258	0.135	930	-0.00093
259	0.067	928	-0.00093
258	-0.087	920	-0.00376
266	0.530	911	-0.00427
276	0.641	902	-0.00431
288	0.739	887	-0.00728
290	0.120	882	-0.00246
293	0.179	884	0.00098
292	-0.058	899	0.00730
293	-0.058	935	0.01705
292	-0.059	959	0.01101
291	-0.056	973	0.00829
293	0.119	986	0.00576
295	0.119	982	-0.00177
294	-0.069	981	-0.00044
295	0.069	980	-0.00044
295	0.000	983	0.00132
296	0.059	984	0.00144

【図22】

【図20】



(A) ノート割当誤差の算出値

ノート 位置	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
自然	2.233	---	1.976	1.688	---	2.233	---	1.976	2.973	---	1.688	---
和声	2.233	---	1.976	1.688	---	3.328	---	3.674	3.377	---	---	2.120
旋律	2.233	---	1.976	2.973	---	3.335	---	2.233	3.377	2.377	1.688	2.120

(B) ノート割当誤差0.5以上の算出値

ノート 位置	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
自然	1.663	---	1.535	0.891	---	1.663	---	1.535	2.553	---	0.891	---
和声	1.663	---	1.535	0.891	---	2.865	---	3.493	3.019	---	---	1.606
旋律	1.663	---	1.535	2.533	---	2.870	---	1.663	3.019	1.735	0.891	1.606

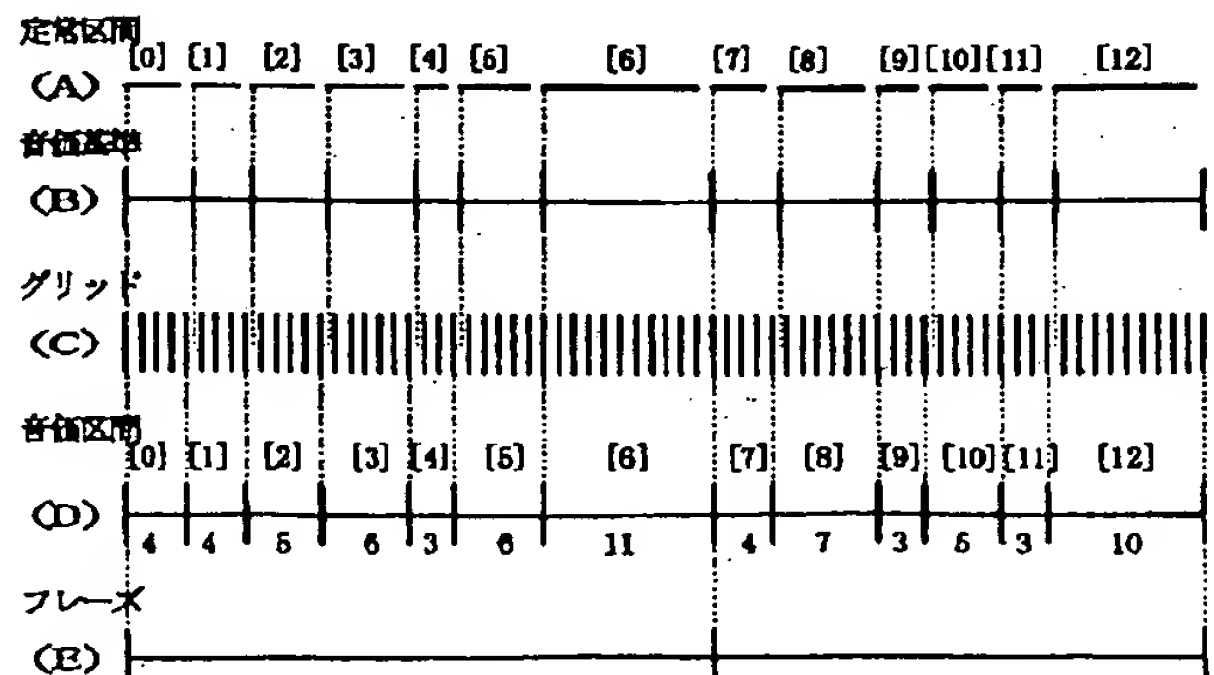
(C) ノート割当誤差0.5以上のノート数

ノート 位置	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
自然	2	-	2	1	-	2	-	2	3	-	1	-
和声	2	-	2	1	-	3	-	4	3	-	-	2
旋律	2	-	2	3	-	3	-	2	3	2	1	2

(D) 音高列

定常区間番号	(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
音高列	0	2	3	5	2	4	---	---	---	---	---	---

【図23】



【図25】

(A) フレーズ内の前接音とのノート距離

音価区間 番号	グリッド	区間番号 (0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		172.38	190.34	215.58	226.02	188.13	200.58
(0)	4	172.38	—	—	—	—	—
(1)	4	190.34	1.7168	—	—	—	—
(2)	6	215.58	2.8716	2.1567	—	—	—
(3)	6	226.02	4.6903	2.9744	0.8187	—	—
(4)	3	188.13	1.6136	-0.2022	-2.3579	-3.1766	—
(5)	6	200.58	2.6230	0.9072	-1.2485	-2.0572	1.1093
..

(B) 時間距離

音価区間 番号	グリッド	区間番号 (0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		172.38	190.34	215.58	226.02	188.13	200.58
(0)	4	172.38	—	—	—	—	—
(1)	4	190.34	4	—	—	—	—
(2)	6	215.58	8	4	—	—	—
(3)	6	226.02	13	9	5	—	—
(4)	3	188.13	19	15	11	6	—
(5)	6	200.58	22	18	14	9	3
..

(C) 時間距離による重み

音価区間 番号	グリッド	区間番号 (0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		172.38	190.34	215.58	226.02	188.13	200.58
(0)	4	172.38	—	—	—	—	—
(1)	4	190.34	100.0	—	—	—	—
(2)	5	215.58	33.3	66.7	—	—	—
(3)	6	226.02	19.8	28.6	51.5	—	—
(4)	3	188.13	14.0	17.7	24.1	44.2	—
(5)	6	200.58	7.4	9.0	11.6	18.0	54.0
..